

FACULTAD DE QUIMICA
Universidad Nacional Autónoma de México

Operación, Cálculo y Costos de los Flúidos
de Perforación en un Sistema Arcilla - Agua

183
T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A :
Angel García Sibaja



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas

Tesis Digitales

Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A mi Querida Esposa:

Mireya Arteaga de García.

A mis Queridísimos Hijos:

José Angel y Ana Mireya.

CLAS# Tesis
ADE# 1926
FECHA 1926
REC# M-1

185



QUIM-0

A mis Queridos Padres:

Sr. Francisco García García
Sra. Francisca Sibaja de García

A mis Hermanos:

Mario, Juan y Mardonía

A mis Tíos y Primos

A mis Maestros

A mis Amigos

TESIS PROFESIONAL

"OPERACION, CALCULO Y COSTOS DE LOS FLUIDOS DE PERFORACION EN UN SISTEMA -
ARCILLA - AGUA".

INDICE

	PAG.
INTRODUCCION.	
CAPITULO No. 1.- Fluidos de perforación: SISTEMA ARCILLA - AGUA.	5
CAPITULO No. 2.- Funciones principales de los fluidos de perforación.	15
CAPITULO No. 3.- Características requeridas en los fluidos de perforación.	22
CAPITULO No. 4.- Tratamiento y control de los fluidos de perforación en un SISTEMA ARCILLA - AGUA.	34
CAPITULO No. 5.- Características de flujo de los fluidos de perforación en un SISTEMA ARCILLA - AGUA.	47
CAPITULO No. 6.- Cálculo teórico de la caída de presión, en el sistema hidráulico de un pozo de perforación.	61
CAPITULO No. 7.- Factores que intervienen para determinar los costos de los fluidos de perforación.	96
CONCLUSIONES.	108
BIBLIOGRAFIA.	110

INTRODUCCION

En la actualidad, la industria petrolera es en todo el mundo, el principal abastecedor de la materia prima que es el petróleo, del cual se obtiene una serie de combustibles y productos de diversa índole para todo el movimiento industrial.

La problemática actual es que los yacimientos petrolíferos comienzan a hacerse cada día más escasos, por lo que se requiere de un mayor esfuerzo por parte de las empresas de éste ramo, el encontrar nuevos yacimientos y muchos de éstos se localizan a gran profundidad.

Actualmente, la perforación rotaria es el principal medio para encontrar éstos nuevos yacimientos, pero como se dijo antes, éstos se encuentran a mayor profundidad, de ahí que se presenten demasiados problemas durante la perforación.

La técnica para aplicar los fluídos de perforación conocidos también como LODOS (en éste trabajo se menciona de indistinta manera), también ha avanzado bastante al igual que los diferentes componentes químicos a aplicar, para la formación de dichos fluídos. Claro está que la técnica y los métodos a aplicar varían de acuerdo a las profundidades y a las configuraciones geológicas.

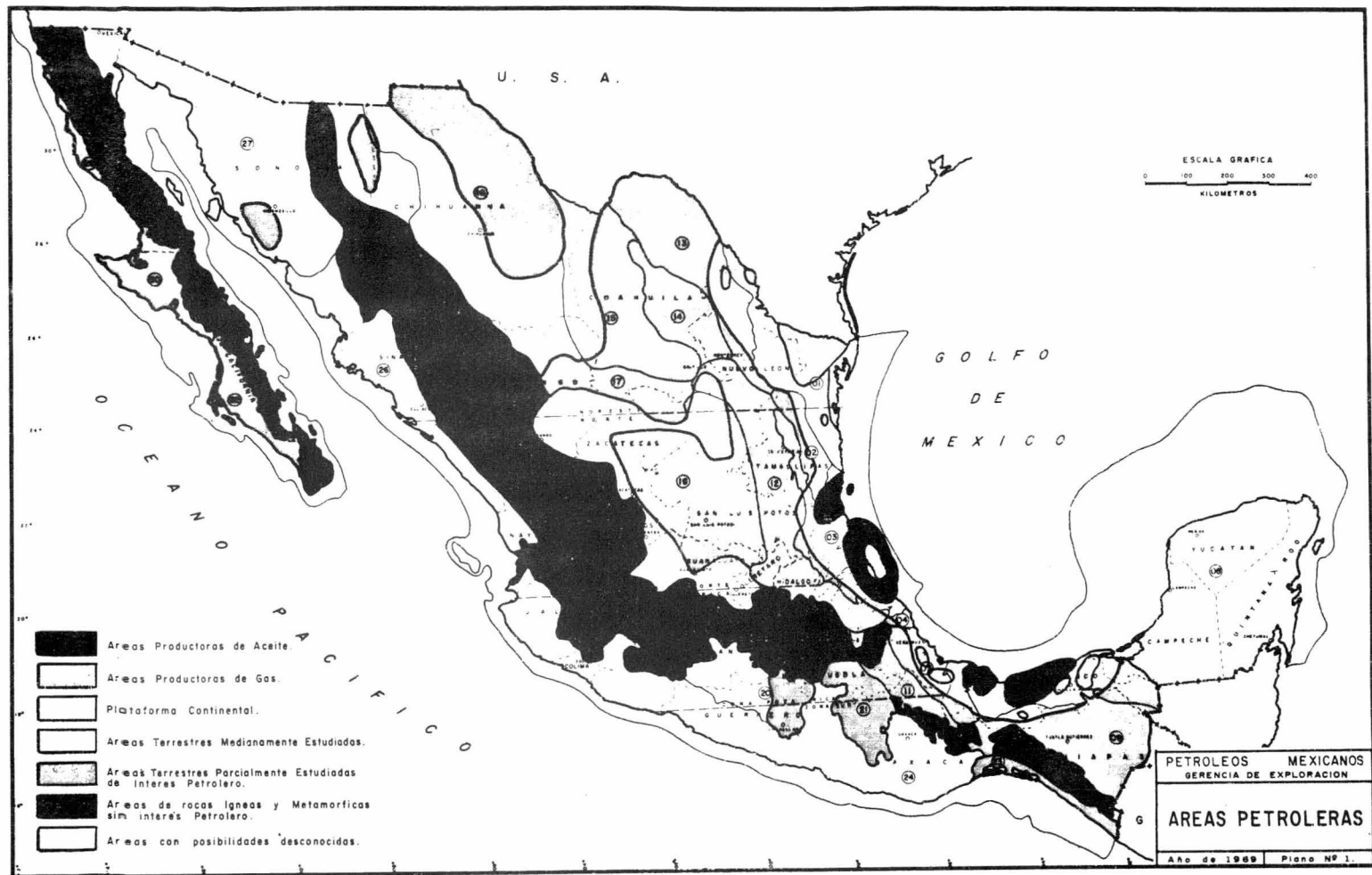
Uno de los puntos importantes en la aplicación de nuevas técnicas y métodos, consiste en hacer económico el trabajo en la perforación.

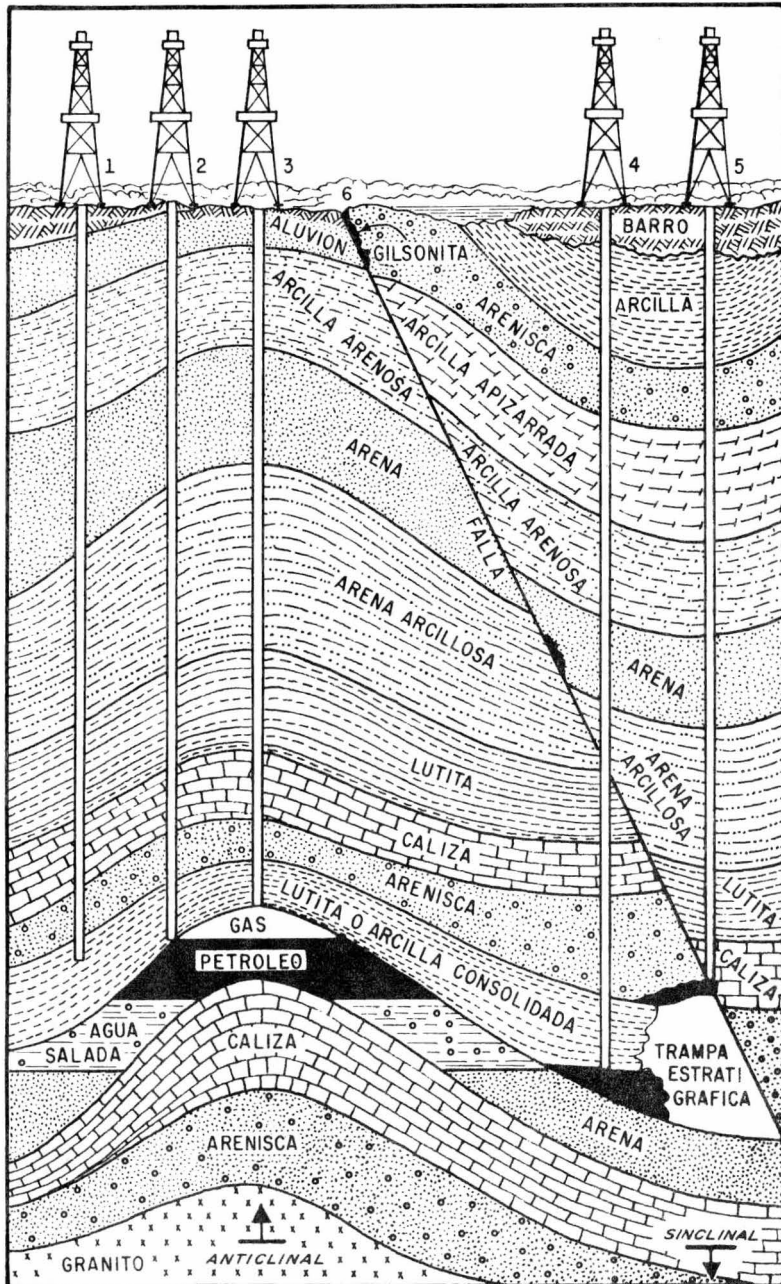
El objeto de éste trabajo, es estudiar el sistema arcilla - agua ya que el método es el más aplicado, aunque hay otros que se aplican en ca

sos especiales, pero no se mencionan.

En nuestro país la empresa que se encarga de la exploración, explotación, refinación, etc., de nuestros yacimientos petrolíferos es "PETROLEOS MEXICANOS".

Este trabajo va dedicado a todos los trabajadores del Departamento de Perforación, por la difícilísima labor que desarrollan para llevar a cabo y de la mejor manera la perforación. Vaya pues, mi gratitud sincera para todos y cada uno de ellos y a toda la industria.





CORTE GEOLOGICO DE UN YACIMIENTO PETROLIFERO

POZO 1 : SECO O IMPRODUCTIVO - A MAYOR PROFUNDIDAD, AGUA SALADA.
 POZO 2 : GRAN PRODUCTOR INICIAL DE PETRÓLEO — POZO 3 : GRAN PRODUCTOR INICIAL DE GAS Y POSTERIORMENTE DE PETRÓLEO. — POZO 4 : PRODUCTOR DE PETRÓLEO POR POCO TIEMPO. — POZO 5 : PRODUCTOR DE PETRÓLEO POR UN PERIODO MUY REDUCIDO. — 6: AFLORACION DE GILSONITA (Chapopotea).

C A P I T U L O I

FLUIDOS DE PERFORACION EN UN SISTEMA ARCILLA - AGUA.

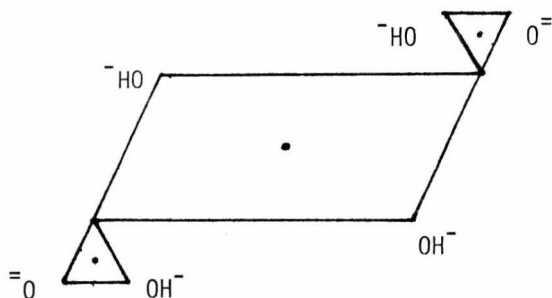
Las arcillas son la parte básica de cualquier sistema en los --
fluídos de perforación (Lodos), del comportamiento de éstos sólidos, de--
pendará en gran parte, el tipo de arcillas presentes.

A continuación, se hace referencia de los diferentes tipos de -
arcillas más usuales en el sistema arcilla-agua y su comportamiento desde
el punto de vista químico.

TIPOS DE ARCILLAS.- Las arcillas usadas en el sistema de fluí--
dos de perforación, pueden dividirse en dos tipos: los de estructura lami--
nar empleados en agua dulce y los de estructura de cadena empleados en --
agua salada.

La primera de éstas estructuras (laminar), puede ser subdividi--
da en tipo hidratable y no-hidratable, como no se hará ningún intento de--
clasificación de todos los materiales arcillosos, los cuales son muy va--
riados, se usará un ejemplo de cada tipo para ilustrar su comportamiento.

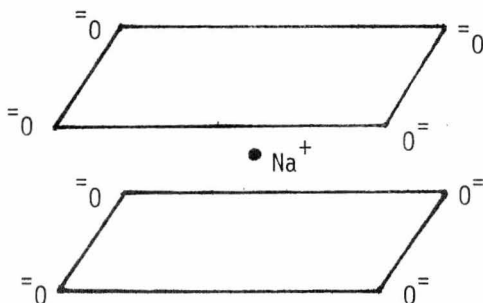
El tipo de arcilla hidratable está representada por la MONTMO--
RRILLONITA de SODIO, la cual es el mineral arcilloso básico de la BENTONI--
TA. Un diagrama simplificado de una lámina de MONTMORILLONITA se muestra--
en la siguiente figura:



(VISTA DE UN SOLO LADO).

MONTMORRILLONITA (DIAGRAMA SIMPLIFICADO).

Como se puede ver, el mineral consiste de dos láminas tetraédricas de silicio y una lámina octaédrica de aluminio; ésta combinación forma la estructura hipotética de la MONTMORRILLONITA, observado sobre éstas bases, ésta discusión es poco beneficiosa, por ésta razón la forma de la estructura se verá como una lámina ó bien una sobre la otra, como se muestra a continuación:



MONTMORRILLONITA SODICA

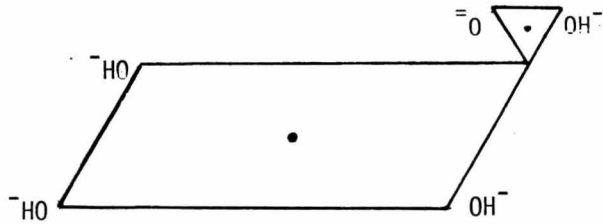
(VISTA EN LAMINAS SUPERPUESTAS)

Nótese que éste arreglo muestra iones negativos (Oxígeno), sobre las esquinas de las láminas y los iones positivos (Sodio), sobre la superficie de las mismas, por lo tanto, en relación con esto, deberá recordarse que cargas del mismo signo se repelen y de signo contrario se atraen. En la figura anterior a manera de aclaración, no se muestran todos los bordes y que algunos de los iones serán OH.

El propósito de la figura anterior, es explicar lo débil de la unión entre las láminas de MONTMORRILLONITA; es común en las láminas de MONTMORRILLONITA, el estar amontonadas ó bien una sobre la otra, de tal manera, que los iones se encuentren opuestos en el arreglo normal, por éstárazón, la única débil que existe, es por la presencia del catión sodio, -- por lo tanto, cuando éste mineral arcilloso es puesto en un medio acuoso -- dulce; la partícula resultante es muy pequeña y el agua es absorbida sobre la superficie de la arcilla, el resultado, es lo que se llama hinchamiento ó hidratación; en la terminología común, la arcilla permanece en suspensión coloidal y espesa la mezcla resultante de arcilla-agua.

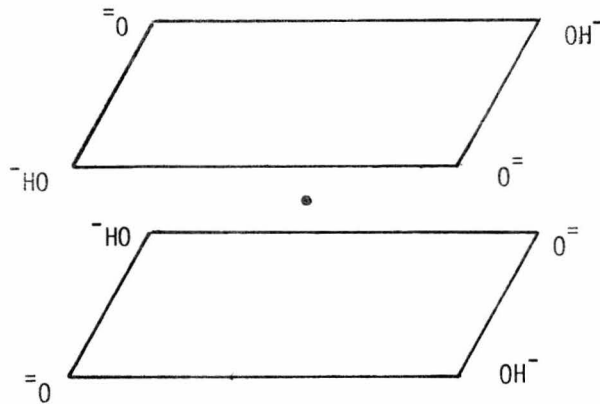
El ión absorbido es el calcio, el cual es divalente, el proceso de hidratación no se efectúa y las partículas de arcilla nunca formarán -- una suspensión coloidal. Una explicación de éste comportamiento, es que la naturaleza divalente del calcio es lo bastante fuerte para evitar una separación continua de las partículas de arcilla, en muchos casos, la arcilla puede contener diferentes porcentajes de MONTMORRILLONITA de SODIO y de CALCIO y su efectividad para la elevación de la viscosidad es limitada, ésto ha sido superado en muchos casos, por la adición de carbonato de sodio --- (Na_2CO_3), donde el sodio se emplea para reemplazar el calcio y convertir -- la MONTMORRILLONITA CALCICA en SODICA, a éste proceso se le llama PEPTIZACION.

El tipo de arcilla laminar no-hidratable, puede ser ejemplificada por el caolín, el cual se encuentra en la mayoría de las áreas perforadas; en la siguiente figura, se muestra un diagrama de una sola lámina de caolín:



LAMINA DE CAOLIN
(VISTA EN UN SOLO PLANO)

Como se ve, el mineral consiste de una placa tetraédrica y otra octaédrica, ésta combinación forma la estructura hipotética del caolín; nuevamente la estructura se mostrará como una lámina rectangular, pero una sobre la otra como se muestra en la siguiente figura:



LAMINAS DE CAOLIN SUPERPUESTAS

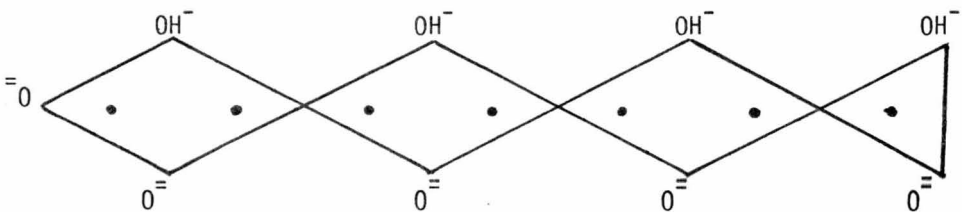
La diferencia básica en el arreglo de las láminas de la Montmorillonita sódica y el caolín es aparentemente inmediata; el catión adsorbido es generalmente hidrógeno, el cual es un fuerte monovalente y exhibe ca-

racterísticas similares a los cationes divalentes; también las láminas adyacentes, generalmente tienen iones hidroxilos alineados, como se ve en la figura anterior.

La presencia de éste fuerte catión positivo, aumenta la unión - entre las láminas de arcilla y la separación entre éstas notada en la Montmorillonita sódica, no tiene lugar en éste caso, como resultado se tiene, que ocurre una hidratación muy pequeña. por ésta razón, si se coloca caolín puro en agua, no se formará lodo, en cambio, éste tenderá a asentarse.

Aún cuando el caolín representa solo un tipo de arcilla no ---- hidratable, la superficie de arcilla disponible y el agua de adsorción, - es la misma para la mayoría de las variedades de arcillas no-hidratables.

Además de la estructura laminar usada para demostrar las variedades de arcillas hidratables y no-hidratables, la arcilla ATAPULGUITA es una estructura de cadena, ésto significa que el espaciamiento y separa---ción de las láminas de arcilla, no son necesariamente un criterio para la hidratación; la estructura simplificada de la ATAPULGUITA, se muestra en la siguiente figura:



ESTRUCTURA SIMPLIFICADA DE LA ATAPULGUITA

(VISTA EN UN SOLO PLANO)

Nótese que en éste caso, no hay amontonamiento ó superposición de láminas; la estructura básica consiste de tetraedros de silicio enlazados en cadena, por grupos de iones oxígeno e hidroxilo, los cuales con tienen también átomos de aluminio y magnesio; en virtud de la estructura básica, ésta arcilla adsorbe agua, independientemente del tipo de cationes presentes; hay varios libros sobre mineralogía de arcillas y mucho - más teorías que libros, cada estudioso de ésta materia puede dar su teoría con datos y aceptar la responsabilidad de desaprobare más que aprobar muchos conceptos aceptados. Esta explicación del comportamiento de las - arcillas se considera lógica y se deriva del estudio de muchas fuentes, - además, un estudio más profundo del mismo, derivaría conocimientos mucho más amplios, que para éste trabajo no es necesario profundizar.

REACCION DE LAS ARCILLAS EN EL AGUA.- Esta acción depende en - alto grado, de tres pasos:

- a) El tipo de arcilla.
- b) Los iones presentes, positivos y negativos.
- c) El medio físico del sistema, sea que esté ó no agitado y -- las características de presión y temperatura.

Ya que las arcillas son materiales que reaccionan, puede haber un cambio en su forma de reacción cuando se agregan iones ó se eliminan éstos del material básico.

INTERCAMBIO IONICO.- El intercambio iónico puede ser de cual--

quiera de los iones cargados positiva (cationes) ó negativamente (aniones). La mayoría de los intercambios iónicos que dan lugar a un cambio en el comportamiento de las arcillas, es debido al intercambio de cationes. La dispersión de las arcillas a través del uso de adelgazadores químicos (dispersantes), resulta de la adición de aniones sobre la superficie de la arcilla. Considerando primero el intercambio de cationes, tales como sodio ó calcio, éstos cationes son a su vez reemplazables por otros y el grado al cual son reemplazables, depende de:

- a) El tipo del catión.
- b) La concentración relativa de cationes.

Por ejemplo, cationes que reemplazarán unos a otros en la misma concentración, será como sigue:



Esto significa, que el calcio reemplazará más rápidamente al sodio, que éste al calcio. Este intercambio iónico es muy importante y debe considerarse por simple observación de muchos casos que ocurren en la vida diaria, por ejemplo, el agua dura puede ablandarse por medio de suavizadores, que no son otra cosa que sustancias químicas para remover iones como el calcio (carbonato de calcio), que es una sustancia insoluble.

Otro ejemplo, es el acondicionamiento de abonos; los que con--

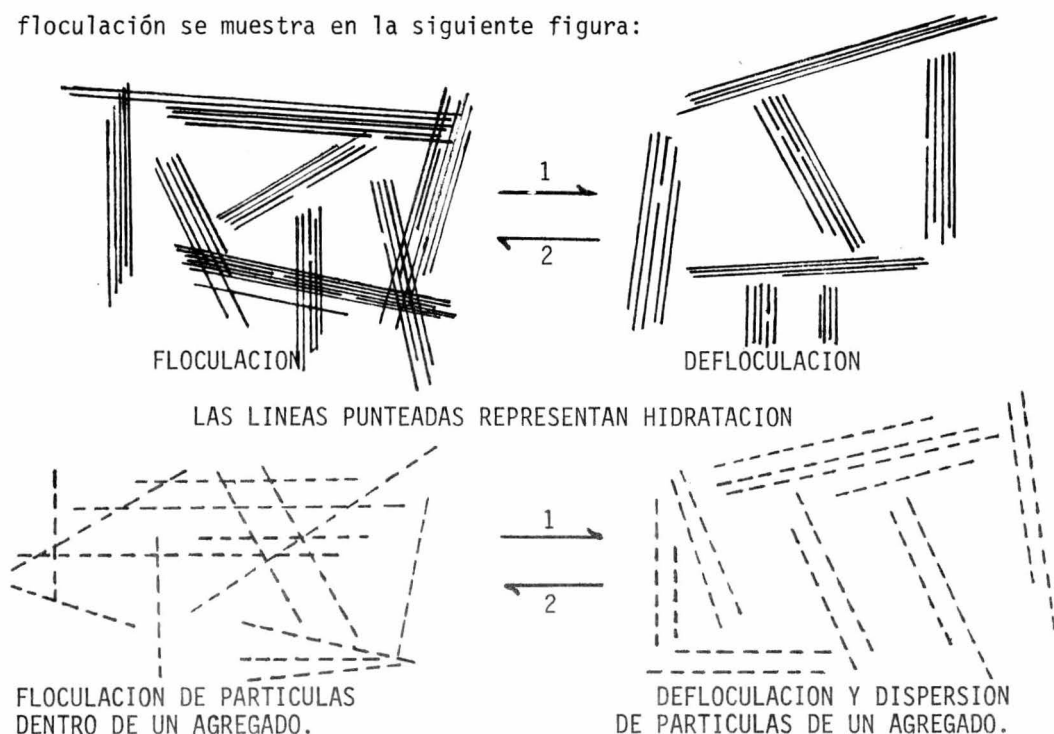
tienen sodio, son indeseables en agricultura, el reemplazo del sodio por el calcio, los hace ideales para la agricultura.

El grado al cual el intercambio iónico tiene lugar, es una función del pH, temperatura y capacidad de intercambio del material en cuestión; en el caso de la Montmorillonita, la arcilla tiene una gran capacidad de reemplazo y es fácilmente cambiada de sodio a calcio ó viceversa, a mayor temperatura, mayor intercambio iónico, sin embargo, si el pH aumenta, la solubilidad del calcio disminuye de tal modo que el intercambio se retrasa.

SISTEMA ARCILLA-AGUA.- Como puede presumirse, por lo anteriormente escrito, el sistema de fluídos de perforación (lodos), arcilla----agua, es aquel en el que las cargas de superficie juegan un papel importante. Un sistema disperso es aquel en el que las arcillas tienen una -- carga de superficie predominantemente negativa, ocasionando que las partículas individuales de arcilla se repelen unos a otros; en un sistema -- floculado, éstas fuerzas han sido neutralizadas y las arcillas que no -- han sido cargadas y mantenidas aparte, vienen juntas a atrapar el agua -- libre, además del agua confinada, causando un rápido incremento en la -- viscosidad.

Estas tendencias de las arcillas a reformarse, si las fuerzas--repelentes se neutralizan, es una acción bien conocida y se efectúa principalmente por las valencias rotas ó cargas de superficie no satisfechas, creadas a lo largo de la pulverización y la circulación; éstas fuerzas -- naturales de superficie al no ser contrarrestadas, tenderán a causar la-

floculación y altos valores de gelatinosidad y viscosidad; un ejemplo de defloculación se muestra en la siguiente figura:



El lado izquierdo de la figura muestra la arcilla en forma flocculada, ésto significa que las partículas de arcilla se unen en fajos ó en grupos sin cohesión de partículas, las cuales atrapan agua, tanta, como una esponja.

Como resultado, cuando ocurre la floculación, el lodo se espesa porque el agua libre efectiva ó porción fluída del sistema es reducida sustancialmente; también se puede ver que una vez que el lodo ó arcilla se flocula, es difícil obtener dispersión adecuada.

La parte derecha de la figura anterior, muestra la arcilla en-

dos condiciones diferentes de dispersión coloidal, pero ambos en estado desilocolado; la línea punteada dibujada alrededor de las partículas de arcilla, en la sección baja del diagrama, ilustra el agua confinada de las partículas de arcilla.

SUSPENSION COLOIDAL.- La suspensión que se forma cuando se mezcla bentonita ó arcilla con agua, no es una solución, porque la arcilla puede separarse del líquido por el proceso de filtración; los términos coloides y suspensión coloidal a menudo usados cuando se habla de fluídos de perforación, se refieren a una suspensión donde los sólidos se comportan frecuentemente como si estuvieran en solución.

Las suspensiones coloidales de sólidos arcillosos tienen una tendencia a la gelatinosidad si se dejan en reposo un cierto período de tiempo; ésto es conocido como TIXOTROPIA, cuando se agitan, la condición-gelatinosa se destruye, pero reaparecerá cuando la suspensión se inmovilice nuevamente. Esta acción es causada por la atracción química de una lámina de arcilla por otra, la magnitud de ésta atracción determinará el grado y fuerza de gelatinosidad.

CAPITULO II

FUNCIONES PRINCIPALES DE LOS FLUIDOS DE PERFORACION.

En los primeros días de la perforación rotaria, la función primaria de los fluidos de perforación era sacar los cortes del fondo del agujero a la superficie. En la actualidad, se reconoce que el fluido de perforación tiene al menos, nueve funciones importantes.

Esas nueve funciones son las siguientes:

- 1.- Sacar los cortes del fondo del agujero y acarrearlos a la superficie.
- 2.- Enfriar y lubricar la barrena y tubería de perforación.
- 3.- Cubrir la pared con un enjarre impermeable.
- 4.- Controlar las presiones debajo de la superficie.
- 5.- Suspender los cortes y material de peso cuando se interrumpe la circulación.
- 6.- Desprender la arena y cortes en la superficie.
- 7.- Soportar parte del peso de la tubería de perforación y de la tubería de revestimiento (CASING).
- 8.- Reducir a un mínimo, cualquier efecto adverso sobre la formación adyacente al agujero.
- 9.- Asegurar la información máxima acerca de las formaciones penetradas.

A continuación, se explica a grandes rasgos, cada una de las -nueve funciones anteriores:

1) Acarreo de los cortes.- El acarreo de los cortes del fondo del agujero, es todavía una de las funciones más importantes de los fluídos de perforación. El fluído que sale de los jets de la barrena, ejerce una acción de limpieza sobre los roles de la barrena y la cara del fondo del agujero. De ésta manera, se logra una mayor vida de la barrena y más eficiencia en la perforación.

El fluído circulante se levanta del fondo acarreando los cortes hacia la superficie. Por influencia de la gravedad, los cortes tienden a asentarse a través del fluído ascendente, pero circulando una cantidad -suficiente de fluído con la velocidad necesaria, es posible nulificar éste efecto, llevando los cortes a la superficie.

La efectividad del fluído de perforación para sacar los cortes a la superficie, depende de varios factores. Estos factores a los que se hace referencia, son los siguientes:

- a) VELOCIDAD.
- b) DENSIDAD.
- c) VISCOSIDAD,

VELOCIDAD.- La velocidad en el espacio anular es un factor importante, para sacar los cortes a la superficie. Se usan frecuentemente,

velocidades que fluctúan entre los 100 y 200 ft/min. (0.5 m/seg y 1.05 m/seg.). La velocidad depende de la capacidad de la bomba, tamaño del agujero y de la tubería de perforación.

El cálculo para obtener la velocidad en el espacio anular, se hace por medio de tablas ó mediante la siguiente fórmula:

$$\text{VELOCIDAD ANULAR} = \frac{\text{Gasto de la bomba (Barriles/min.)}}{\text{Volumen anular (Barriles/100 ft.)}}$$

DENSIDAD.- La densidad es el peso por unidad de volumen y tiene un efecto de flotación sobre las partículas. Aumentando la densidad del fluido, se aumenta la capacidad de acarreo.

VISCOSIDAD.- Todos los fluidos poseen una resistencia a fluir - que se denomina viscosidad. La viscosidad tiene gran significancia en el acarreo de los cortes. La viscosidad depende de la concentración, calidad y dispersión de los sólidos suspendidos. En las pruebas de campo, éste -- factor se verifica con el embudo MARSH, con el STORMER ó con el viscosímetro FANN.

Estos dos últimos factores, se verá con más detalle en el siguiente capítulo, que corresponde a "Las características ó propiedades -- principales de los fluidos de perforación".

La segunda de las nueve funciones anteriormente citadas, es la siguiente:

2) Enfriamiento y lubricación.- Se genera una gran cantidad de calor por fricción, entre la barrena y la tubería de perforación en contacto con la formación, entonces, hay poca oportunidad para que se disipe a la formación éste calor, por lo que debe servir el fluido de perforación como líquido de enfriamiento. El calor que se produce en los puntos de fricción, se disipa al salir el fluido a la superficie. Aunque en bajo grado, el fluido posee propiedades lubricantes; la aplicación de aceite (generalmente aceite Diesel), combinado con agentes emulsificantes, aumenta su lubricidad. Esto se manifiesta en la disminución de la fuerza de torsión, aumento en la vida de las barrenas, reducción en la presión de bombeo, etc.

3) Formación de pared.- Un buen fluido de perforación deberá depositar un buen enjarre (película que forma el fluido de perforación en la pared del agujero a medida que se está perforando), en la pared del agujero, para consolidar el paso de fluido a la formación. Esta propiedad del fluido se mejora, aumentando la fracción coloidal, adicionando bentonita que no es más que un material arcilloso y tratando químicamente el fluido para mejorar la dispersión y distribución de sólidos. En muchos casos, es necesario añadir algunos aditivos para disminuir la pérdida de agua.

4) Control de presiones bajo la superficie.- La contención apropiada de las presiones de la formación, depende de la densidad ó peso del lodo. La presión normal en éstos casos, es igual a 0.465 lb/ft de profun-

dad, ésta, es la presión ejercida por una columna de agua de la formación.

Normalmente el peso del agua y los sólidos recogidos de la perforación, son suficientes para balancear las presiones de la formación, - sin embargo, algunas veces, presiones anormales requieren la adición de - un material pesado, finamente dividido, como la BARITA, para aumentar la presión hidrostática de la columna de lodo.

La densidad del lodo se mide con una balanza para lodos; la presión hidrostática que una columna de lodo ejerce sobre un punto del aguje ro, se puede calcular como sigue:

$$\text{PRESION HIDROSTATICA} = \text{Profundidad (L)} \times \text{Peso del lodo (}\rho\text{)}.$$

De donde: L = En metros.

$$\rho = \text{En g/cm}^3$$

$$\text{P.H.} = \text{En Kg/cm}^2$$

Por lo que la ecuación abreviada será:

$$\text{P.H.} = L \times \rho$$

5 y 6) Suspensión de cortes, arena y depósito de ellos en la superficie.- Los buenos fluidos de perforación tienen propiedades para mantener en suspensión los sólidos acarreados a la superficie, debido a la gelatinosis y tixotropía, cuando se detiene la circulación.

Después de continuada la circulación del fluido, regresa precisamente a su condición de fluido y éstas partículas se depositan en la superficie junto con la arena.

Una comparación del contenido de arena en la salida del fluido de perforación, con la que se tiene en la succión de la bomba, dará indicaciones acerca de si la arena se está asentando en forma apropiada en la superficie ó si se está recirculando.

Se tendrá un alto contenido de arena en la salida del fluido de perforación, cuando se perforan formaciones muy arenosas. La arena es extremadamente abrasiva y si se recircula en el sistema, las bombas y las uniones se dañarán. Deberá hacerse pruebas periódicas del contenido de arena, para mantener éste en menos del 2%.

7) Soporte del peso de la tubería de perforación y tubería de revestimiento (CASING).- Al aumentar las profundidades, el peso soportado por el equipo de superficie va aumentando considerablemente. Debido a que la tubería de perforación ó bien la de revestimiento, están sumergidas en el fluido de perforación, sufren un empuje de abajo hacia arriba, igual al peso del lodo desplazado (Principio de Arquímedes); un aumento en la densidad del fluido, aumentará el empuje y necesariamente reducirá el peso total soportado por el equipo de superficie.

8 y 9) Protección del agujero y seguridad de obtener la máxima información sobre el mismo.- Se necesitan las propiedades del fluido, para ofrecer la máxima protección a la formación, sin embargo, algunas ve-

ces esas propiedades, deben sacrificarse para obtener un conocimiento máximo de las formaciones penetradas.

Por ejemplo, la sal puede contaminar al lodo y aumentar la pérdida de agua, sin embargo, puede dejarse para controlar la resistividad para mejor interpretación de los registros eléctricos. El aceite puede mejorar el comportamiento de un fluido de perforación y aún la producción de un pozo, pero si interfiere con el trabajo de los geólogos, debe evitarse el -- agregar aceite al fluido.

CAPITULO III

CARACTERISTICAS O PROPIEDADES REQUERIDAS EN LOS FLUIDOS DE PERFORACION.

PRUEBAS DE CAMPO.- Es necesario efectuar ciertas pruebas, para determinar si el fluido está en condiciones apropiadas, para llevar a cabo las funciones anteriormente citadas. La frecuencia de éstas pruebas,--varía en las diferentes áreas, dependiendo de las condiciones de éstas últimas.

Los métodos para medir las propiedades de los fluidos de perforación y la cuantificación de las mismas, se detallan en el boletín EP 29 de la A.P.I., publicando por dicho instituto, que es la práctica recomendada para los procedimientos de pruebas de los fluidos de perforación usados como patrón en el campo.

A continuación se citan las propiedades de los fluidos de perforación y los instrumentos empleados en el campo, para su determinación, - todo ésto, de manera muy general, señalando desde luego, las propiedades- que por su importancia merecen crédito aparte.

Dichas propiedades ó características son las siguientes:

- 1) Densidad ó peso del fluido.
- 2) Viscosidad.
- 3) Gelatinosidad.
- 4) pH.

- 5) Contenido de arena.
- 6) Porcentaje de sólidos.
- 7) Temperatura.
- 8) Filtrado ó pérdida de agua.

DENSIDAD O PESO DEL FLUIDO.- La importancia de ésta propiedad es obvia, ya que determina la carga hidrostática del fluido a determinada profundidad, carga que evitará flujo de gas, aceite ó agua salada de la formación, además, no debe olvidarse que también influye mucho, en el acarreo de los cortes hacia la superficie.

Esta propiedad se determina por medio de una balanza construída especialmente para los fluidos de perforación. En el mercado, son varios los proveedores de dicha balanza y varios los tipos, aunque el fin que se persigue es el mismo. Generalmente se reporta la densidad del fluido en -- lbs/gal., ó bien en g/cm^3 , siendo más usual éste último; aunque los valores varían con la profundidad, también pueden sufrir modificaciones de --- acuerdo a los problemas que se presenten durante la perforación.

Los valores más usuales en cuanto a densidades, son las siguientes:

1.08 g/cm^3 a 1.38 g/cm^3 de 0 a 2000 metros.

1.38 g/cm^3 a 2.04 g/cm^3 de 2000 a 4000 metros,

VISCOSIDAD.- La viscosidad se define como la resistencia interna

de un fluido al flujo. Esta propiedad se determina en el campo por medio de un embudo especial llamado MARSH. Este embudo tiene las siguientes características: 6" de diámetro en la parte superior, en la parte inferior, tiene un tubo calibrado de 3/16" de diámetro interior. En la parte superior, tiene una malla con abertura de 1/16" que cubre la mitad de la boca y está fijada a 3/4" del borde del embudo. El objeto de la malla es colar el fluido. La medida de la viscosidad, se hace en función del tiempo que tarda en escurrir un volumen de un litro del fluido. Este volumen se mide con una taza graduada para tal fin. La viscosidad se mide y se reporta en segundos.

GELATINOSIDAD.— La definimos como "la fuerza necesaria para romper el gel, formado por el reposo del fluido de perforación".

En el campo se mide de una manera muy sencilla, dejando una --- muestra del fluido en reposo durante un tiempo determinado y pasando ese tiempo, se mide la gelatinosidad, reportándose ésta en lbs/100 ft². Se -- efectúan dos mediciones de la gelatinosidad, una se toma a cero minutos y la otra a diez minutos.

pH.— Esta propiedad expresa la alcalinidad ó la acidéz del fluído de perforación. Los efectos que tiene ésta propiedad son las siguientes:

La dispersión de los coloides, la viscosidad, la gelatinosidad- y la acción corrosiva. Como se ve, su función es importante.

La determinación del pH, se hace por medio del papel indicador- en las pruebas de campo y en el laboratorio con un potenciómetro del tipo BECKMAN. De acuerdo a las experiencias obtenidas, para tener un buen fluído de perforación, el pH debe fluctuar entre los valores de 8.5 y 9.5.

CONTENIDO DE ARENA.- Además de la acción abrasiva de la arena, - que en si es perjudicial, existen otros factores que la misma arena oca-- siona y que son los empacamientos de la barrena, enjarres (película de la pared) muy gruesos y filtrados muy altos; razón por la cual, deberá evi-- tarse un alto contenido de arena, para lo cual se cuenta en los equipos - de perforación con unos aparatos llamados desarenadores, los cuales como- su nombre lo indica, tienen como función primordial, la de eliminar dicha arena.

La determinación del porcentaje de arena, se lleva a cabo con - un aparato llamado ELEUTIMETRO, que no es más que un tubo de cristal, el cual tiene una escala y con ella medimos el porcentaje de arena en volu-- men. Los porcentajes permisibles de arena, varían de acuerdo a la profun-- didad, pero el valor recomendable como máximo es del 2%.

PORCENTAJE DE SOLIDOS.- La concentración de sólidos en los fluídos de perforación, tiene efecto preponderante sobre otras propiedades -- del mismo, como son: la viscosidad, el punto de cedencia y el filtrado, - por lo que su determinación para controlar su valor en forma adecuada, es muy importante.

Para poder determinar éste porcentaje, se usa una retorta especial. El fluído se coloca en un recipiente de acero y se calienta hasta - que los componentes líquidos se evaporan, pasándolos a continuación por - un condensador y recogiendo el filtrado en una probeta graduada. Se mide - el volumen y se determina por diferencia los sólidos. El porcentaje de só - lidos se reporta en volumen.

TEMPERATURA.- Esta es una propiedad cuyo valor, es usado única- mente como información y dato de referencia, su acción sobre el fluído de perforación, afecta en cierto modo sus propiedades de flujo. La temperatu - ra se determina por medio de un termómetro común a la salida del fluído - del agujero.

FILTRADO O PERDIDA DE AGUA.- Esta propiedad del fluído, debe -- controlarse de manera especial y apropiada, ya que su influencia tanto en la perforación, como terminada ésta, por la acción del filtrado sobre las formaciones productoras, es de vital importancia, por éstas razones, a -- continuación se tratará de explicar el proceso de filtración y la impor- tancia del mismo en el control del fluído de perforación.

FILTRACION

Como se expresó a principios del capítulo anterior, hay nueve - funciones importantes, más bien principales, en los flufdos de perfora- - ción. La eficiencia para llevar a cabo éstas funciones, depende de cier- - tas características ó propiedades. Todas éstas características como la --

viscosidad, tixotropía, ausencia de abrasivos, ausencia de gas y peso ó - densidad apropiadas, son importantes, pero hay otra propiedad de gran importancia, la apropiada característica de FILTRACION y su consecuente, -- "la formación de una película delgada e impermeable (enjarre)".

Hay dos tipos de filtración, la dinámica, que ocurre cuando el fluido está circulando y la estática, cuando el fluido está en reposo. No hay ningún medio adecuado para medir la filtración dinámica, por ésa razón, solo se trabaja con la filtración estática. La medida se hace con el equipo standard A.P.I., como se dijo anteriormente. Los datos obtenidos son la pérdida de agua y el espesor de la película.

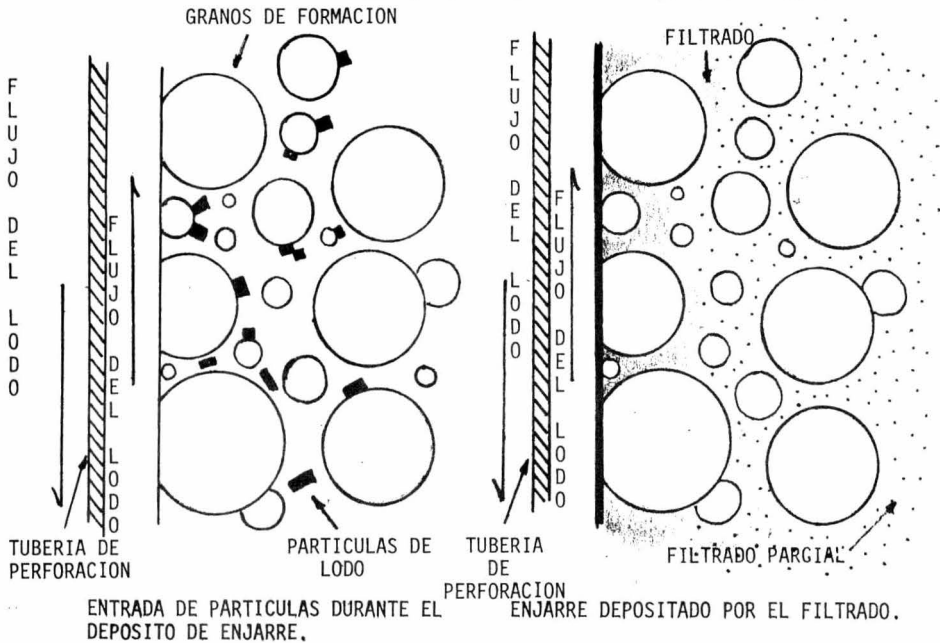
FUNDAMENTOS DE LA FILTRACION.- La pérdida de fluido (generalmente agua) del lodo a la formación, solo ocurre cuando la permeabilidad estatal, que permite el paso de fluido entre los poros. Cuando éstos poros -- son suficientemente grandes, el primer efecto es, una pequeña porción de fluido que penetra por la cara de la pared. Después al perder fluido, se forma una torta de sólidos del fluido sobre la pared.

Altas velocidades de los fluidos de perforación, pueden causar problemas tales como, la lodificación de lutitas (tipo de formación geológica), invasión de filtrado, fricción en el agujero, succión en el agujero debido a un enjarre demasiado grueso.

Por la experiencia de una área, pronto se determina la magnitud de la pérdida de agua que debe mantenerse para que no haya problemas en las operaciones. Para éste trabajo, el filtro prensa de baja presión apor

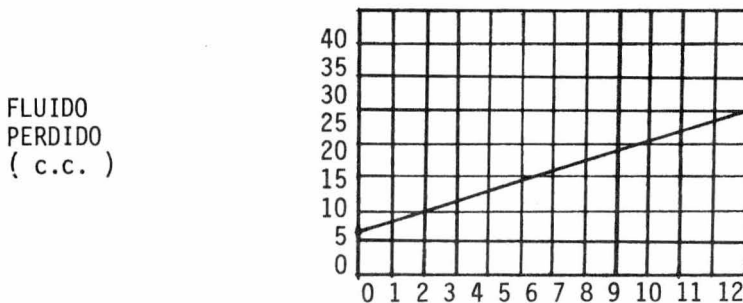
ta valiosos datos. Aunque no duplica las condiciones del agujero, los valores de pérdida de agua y espesor de la película obtenidos, se usan con éxito.

Las leyes de filtración no tienen efecto, hasta que no haya un enjarre que sirva como medio filtrante, ésta torta filtrante está compuesta de los sólidos del fluido, que son los sólidos naturales encontrados en el agujero y los sólidos añadidos al fluido. Más importante que el contenido de sólidos del fluido, es el tamaño, forma y distribución de las partículas. Para obtener las propiedades óptimas en el enjarre, debe darse importancia no solo a los sólidos básicos del lodo, sino también a los materiales usados para el control de la pérdida de agua.



FACTORES QUE AFECTAN LA FILTRACION.

TIEMPO.- La pérdida de agua de acuerdo con las especificaciones de la A.P.I., se toma en un período de 30 minutos. En algunos distritos, - es práctica común tomar la pérdida de agua a 7.5 minutos y el resultado - se multiplica por 2 para obtener el equivalente del período de 30 minutos. Aunque se sabe que el enjarre no es constante y que todos los enjarres -- son más ó menos compresibles, si graficamos el filtrado Q contra la raíz-cuadrada del tiempo, resultará una línea recta a **pesar** de cualquier error constante en el filtrado y cualquier error se pone de manifiesto en el -- punto de intersección de la línea del tiempo con la línea del filtrado.



RAIZ CUADRADA DEL TIEMPO EN MINUTOS.

RELACION DEL FLUIDO PERDIDO CONTRA EL TIEMPO.

Reduciendo a la más simple expresión matemática la ecuación de filtración, se tiene:

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

De donde: Q_2 = Filtrado desconocido en el tiempo T_2 .

Q_1 = Filtrado conocido en el tiempo T_1 .

Por ejemplo, si la pérdida de agua Q_1 en 7.5 minutos es de ---
5 c.c., la pérdida de agua en 30 minutos será:

DATOS.

$$Q_1 = 5 \text{ c.c.}$$

$$Q_2 = x$$

$$T_1 = 7.5 \text{ min.}$$

$$T_2 = 30 \text{ min.}$$

$$Q_2 = 5 \text{ c.c.} \sqrt{\frac{30 \text{ min.}}{7.5 \text{ min.}}} = 5 \text{ c.c.} \sqrt{4.0}$$

$$Q_2 = 10 \text{ c.c.}$$

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

Una distribución coloidal pobre, dará por resultado un gran incremento en el filtrado.

Una prueba en el campo para obtener el filtrado, se hace sobre una muestra de lodo de 350 c.c., en un modelo de filtro prensa especial para ésta determinación. La presión empleada es de 100 lbs/in² y el tiempo -

de prueba será de 7.5 min. ó de 30 min.. Si es de 7.5 min., se multiplicará el volumen obtenido por 2.

TEMPERATURA.- Con un aumento de temperatura, el efecto general es un aumento de pérdida de agua. Un aumento de temperatura siempre disminuye la viscosidad de la fase fluída y de ésta manera se aumenta la pérdida de agua, permaneciendo los otros factores constantes.

Un mayor calentamiento puede dar como resultado la floculación de algunas arcillas y por consiguiente, un aumento en la velocidad de filtración.

Esto se debe seguramente, a cambios en la solubilidad, adsor---ción y la ionización.

Temperaturas aún mayores ó períodos de tiempo más largos en éstas temperaturas, puede dar por resultado, cambios físico-químicos de los coloides mismos ó de algunos de los componentes del lodo, como en el caso de los lodos cálcicos, los cuales sufren cambios radicales en sus propiedades físicas y químicas.

Cuando hay bajas temperaturas, un aumento de ésta, puede disminuir en algunas ocasiones la pérdida de agua, dando una mejor hidratación y una mejor dispersión de las partículas coloidales.

DISPERSION.- La dispersión apropiada de las arcillas coloidales, es importante para el control de la filtración.

El lodo al estar flocculado, ocasiona pérdidas de agua en mayor cantidad, ya que el fluído pasa libremente entre los agregados. Este mismo

fluído si se dispersa nuevamente, dará por resultado, una pérdida de agua menor.

La adición de reactivos, además de dispersar los sólidos, también sirve para dar fuerza a la torta del enjarre, por lo que ésto puede ayudar a bajar la pérdida de agua.

En algunos casos, la velocidad de filtración se puede disminuir, agregando agua al sistema, sobre todo, cuando el lodo contiene demasiados sólidos. El descenso de la pérdida de agua añadiendo agua, se debe probablemente, a una mejor distribución de los sólidos y al descenso de la gelatinosidad.

Haciendo un resumen de todo lo anterior, tenemos que la pérdida de agua no debe considerarse como un valor absoluto, sino como guía ó criterio a seguir en las propiedades filtrantes del fluído.

Debido a las muchas variables que afectan la filtración de un fluído de perforación, es difícil predecir la pérdida de agua a la formación, por la prueba sencilla de la A.P.I.

Las experiencias obtenidas dictan los límites de la pérdida de agua adecuadas, para penetrar segura y satisfactoriamente, ciertas formaciones en ciertas áreas. Por ejemplo, en la región de Poza Rica, Ver., se perforan formaciones de roca dura, cuya pérdida de agua tiene un valor -- aproximado de 20 c.c., en cambio, en el Sureste de la República, como en el caso del Estado de Tabasco, las formaciones que se perforan, las cuales son lodosas y deleznales ó bien hidratables, se llega a perforar con-

una pérdida de agua cuyo valor aproximado es de 5 c.c., por lo que, la -- experiencia en una área determinada, sirve de guía para especificar los - valores de la pérdida de agua, en el programa de los fluídos de perfora-- ción.

Una vez establecido el valor deseable, puede controlarse la pér dida de agua, por la adición de la fracción coloidal apropiada y manteniendo los sólidos arcillosos en su máxima dispersión con los agentes adecua- dos.

CAPITULO IV

TRATAMIENTO Y CONTROL DE LOS FLUIDOS DE PERFORACION EN UN SISTEMA ARCILLA-AGUA.

LODO NATURAL.- Los lodos más elementales se usan a bajas profundidades y se llaman lodos naturales. Consisten de arcillas, sólidos obtenidos de la perforación y agua dulce; éstos lodos requieren poco ó ningún -- tratamiento. En algunas áreas se encuentra buena agua de tratamiento y las formaciones proporcionan buenas arcillas para generar lodo, solo se necesita agregar agua a las presas y accionar las bombas y la rotaria para obtener un buen lodo.

Otras formaciones no dan buen lodo, por lo que se hace necesario agregar arcillas para tener un lodo en condiciones apropiadas de trabajo.- En algunos casos, se prefiere una arcilla de alto rendimiento para el lodo inicial, mientras que en otros es preferible combinar arcilla de alto rendimiento con bentonita, para obtener una mezcla que se adapte mejor a las necesidades específicas. Una buena arcilla de alto rendimiento, puede dar de 40 a 50 barriles de lodo por tonelada de arcilla con un peso aproximado de 9.00 libras por galón; ésto se obtiene con 35 ó 50 sacos de arcilla por cada 100 barriles de agua. Si se usa únicamente bentonita, ésta dará de 85 a 100 barriles de lodo de 15 cps., con un peso aproximado de 8.7 lbs/gal., por tonelada de bentonita. Se necesitan de 15 a 20 sacos de bentonita por cada 100 barriles de agua.

El mezclado del lodo puede tomar de 2 a 6 horas, mientras se lleva a cabo el resto de la instalación del equipo; el lodo deberá estar se agitando continuamente, al completar la instalación, el lodo estará listo para usarse. La velocidad de mezclado será entre 2 y 15 minutos -- por saco, ésto variará según las condiciones del equipo disponible.

LODOS DE BAJO Y ALTO pH.- Al progresar la perforación a mayor profundidad, el control de la viscosidad, gelatinosidad y pérdida de --- agua, se hace más importante. El lodo natural se trata con fosfatos, sosa caústica y dispersantes orgánicos. El pH de los lodos de bajo pH se - mantienen entre 7.5 y 11.

Existe poca diferencia entre los lodos de bajo y alto pH, el - lodo de bajo pH se cambia a alto, añadiendo más sosa caústica para mante ner el mismo, entre 10.5 y 11, eliminando el uso de fosfatos y aumentan- do un poco la concentración del reductor de viscosidad orgánico. Los lo- dos de alto pH ofrecen mayor resistencia a las contaminaciones.

TRATAMIENTO Y CONTROL DE LODOS DE BAJO Y ALTO pH (SIN CONTAMI- NACIÓN).- El control de la viscosidad de los lodos de bajo y alto pH, -- consiste principalmente, en el control de la concentración de sólidos y- su dispersión apropiada. En la perforación ordinaria, las formaciones -- producen nuevos materiales sólidos coloidales e inertes que aumentan la- viscosidad, por consiguiente, es necesario controlar la cantidad y com- portamiento de dichos sólidos.

Generalmente el lodo de agua dulce, se mantiene en las mejores condiciones, con un pH de 8.0 a 9.5. Los lodos de alto pH se mantienen mejor entre 10.5 y 11.5

TRATAMIENTO CON FOSFATO.- El tratamiento con fosfato se utiliza más a menudo en los sistemas de bajo pH sin contaminación, cuando los sólidos presentan un problema; en éstas condiciones, los fosfatos son los mejores reductores de viscosidad. Los más frecuentemente empleados son el SAAP (Fosfato ácido de sodio, pH = 4.8) y el tetrafosfato de sodio de pH= 7.0. . La cantidad de fosfato raramente excede de 0.2 lbs/barril.

La adición de fosfato ácido de sodio (SAAP), debido a su bajo pH, da como resultado un descenso del mismo, al lado ácido, ésto puede evitarse, agregando sosa caústica y un dispersante orgánico. El tetrafosfato debido a su pH neutro, requiere menos sosa para el control del pH y los sobretratamientos son más fáciles de evitar.

La adición de los fosfatos y el control cuidadoso del pH, generalmente da un buen lodo y con buenas propiedades, si todos los otros factores son normales y se usa la cantidad apropiada de agua.

A elevadas temperaturas, los fosfatos son ineficaces como reductores de viscosidad. El gradiente normal de temperatura de las formaciones es de 1°F por cada 60 pies de profundidad y los fosfatos son inefectivos a temperaturas de 160° a 180°F, a éstas temperaturas elevadas, los fosfatos se convierten en ortofosfatos, que son floculantes en vez de dispersantes, ésto significa, que a profundidades de 10,000 pies ó más, ésta --

conversión puede suceder.

El primer síntoma de inversión ocurre, cuando el fosfato reduce bien la viscosidad en la superficie y en las pruebas piloto, pero en el pozo, el lodo tratado con fosfato, regresa viscoso del agujero, si ésto sucede, debe discontinuarse el uso del fosfato. En la práctica, los fosfatos se usan como reductores de viscosidad hasta los 2,000 metros.

TRATAMIENTO CON SOSA Y REDUCTOR DE VISCOSIDAD ORGANICO.- La viscosidad y gelatinosidad de un lodo de bajo pH, puede controlarse también con sosa caústica y dispersantes orgánicos (Tann-A-Thin, Quebracho). La relación de sosa y dispersante, generalmente varía de 1 : 2 a 1 : 10, con uso cuidadoso de la sosa para mantener el pH dentro de los límites adecuados. La selección del reactivo debe hacerse teniendo en cuenta su pH; la mayoría de los dispersantes orgánicos, tienen su mayor efectividad a cierto pH ó combinados con sosa.

El Quebracho, pH = 3.8, Lignina ácida (Tann-Athin, pH = 3.8 y el extracto de abeto (Rayflo, pH = 7.5), son todos efectivos para reducir la viscosidad en los lodos de bajo pH.

Los compuestos pretratados de tanatos alcalinos (Alkatan) y la Lignina alcalina (Emulsite), también puede usarse para bajar la viscosidad y la gelatinosidad. Ambos materiales son rápidamente solubles sin desperdicio de material; pueden usarse pequeñas cantidades de fosfatos como tratamiento complementario si la temperatura lo permite. Es necesario controlar con agua, la cantidad de sólidos como en todos los lodos de base -

agua.

El tratamiento de los lodos de alto pH, es muy similar al tratamiento de los lodos de bajo pH, excepto que se use una cantidad mayor de sosa cáustica y no se usa el fosfato.

TRATAMIENTO DE LODOS DE BAJO Y ALTO pH CONTAMINADOS.- Los lodos de bajo y alto pH, están expuestos a severas contaminaciones por los contaminantes ordinarios: sal, cemento y anhidrita. Su efecto en las propiedades físicas del lodo, es una viscosidad anormal, alta gelatinosidad, alta pérdida de agua y gruesos enjarres. Es una buena práctica, mantener un bajo contenido de sólidos para disminuir éstos efectos.

CONTAMINACION CON SAL O CLORUROS.- La sal ordinaria es uno de los contaminantes más comunes; puede incorporarse al lodo por el agua de tratamiento, al perforar formaciones de sal ó por flujos de agua salada.- El primer efecto de las altas concentraciones de sal en las partículas de arcilla, es la neutralización de las cargas eléctricas. Por acción de masas, los iones que rodean las partículas coloidales están más cercanos, - ésto neutraliza la carga negativa de las partículas de arcilla y permite a las partículas a acercarse tanto, que forman agregados que ya no tienen las dimensiones coloidales. Esta acción es muy rápida y produce un aumento de viscosidad, debido a la interferencia de las partículas.

Los electrolitos del agua salada, atraen fuertemente las moléculas polares de agua, debido a ésto, hay una deshidratación gradual de las

partículas coloidales durante varios días, lo cual reduce la estabilidad de dichas partículas. Consecuentemente, después de unos días, puede haber una reducción de la viscosidad en el lodo, producida por efecto de dilución del agua, que anteriormente estaban unidas a las partículas de arcilla y a la sedimentación de los grandes agregados del lodo.

El primer efecto de la contaminación de sal, es un aumento en la velocidad de gelatinización, viscosidad y pérdida de agua, después, al continuar la deshidratación y floculación de los coloides, la viscosidad cae debajo de lo normal y la pérdida de agua aumenta en proporción con la contaminación de sal.

TRATAMIENTO CON SOSA Y DISPERSANTE ORGANICO.- Si la contaminación de sal se va acumulando gradualmente al perforar vetas de sal, es necesario diluir con agua dulce y aumentar el tratamiento de sosa y dispersante orgánico, para conservar al lado en las condiciones de lodo de agua dulce. Otros de los efectos de la sal es bajar el pH, por lo que debe agregarse más sosa, para conservar el pH alcalino. Algunos dispersantes orgánicos, son más efectivos que otros para tratar el lodo contaminado; a bajas concentraciones de sal, dispersantes tales como el quebracho y los fosfatos, se usan con cierto éxito, pero al aumentar la concentración de sal, disminuye su efectividad. El Tann-Athin caústico, dispersa el lodo a mayores concentraciones, pero la sosa y el Spersene, producen las mejores reducciones de viscosidad a cualquier concentración de sal. La relación de sosa y dispersante debe ser tal, que se mantenga el pH y se dispersen efectivamente los sólidos. Esto puede requerir de 0.5 a 3 lbs/barril de dispersante, dependiendo esto de las concentraciones de sal.

Al aumentar la concentración de sal arriba de 10,000 ppm, la -- viscosidad y la geletinosidad se hacen más difíciles de controlar y si se sospecha una mayor concentración, el lodo debe convertirse a otro tipo. - Frecuentemente se hace la conversión al lodo base agua salada, lodo cálcico, etc. Sin embargo, el uso de éstos tipos de lodo, se han desechado por antieconómicos.

CONTAMINACION CON CEMENTO.- La contaminación con cemento se encuentra en cualquier agujero; el cemento flocula y engruesa al lodo con un aumento de pH, debido a los iones oxhidrilos y por adsorción de calcio (ión), al extremo de la partícula de la arcilla. Esta floculación destruye las propiedades filtrantes de la arcilla, debido a que los flóculos evitan el acomodo de las partículas de arcilla en el enjarre, produciendo -- una alta pérdida de agua y un enjarre grueso y esponjoso.

El grado de aumento de viscosidad, gelatinosidad y pérdida de -- agua por la contaminación de cemento, depende de varios factores, tales, -- como el tratamiento químico anterior a la contaminación, concentración de sólidos, dureza y cantidad de cemento que se va a perforar. Siempre se sabe de antemano, cuando se va a perforar cemento y se considera una buena-práctica, tratar previamente el sistema, de tal manera, que se eviten los problemas de la contaminación. El método usual de tratamiento previo, es tratar el lodo de la superficie con un dispersante y comenzar a perforar, cuando el lodo tratado llegue a la barrena,

El contaminante puede desecharse por medios físicos ó químicos -- ó bien la arcilla puede tratarse de tal manera, que permanezca estable --

aún en presencia del contaminante. Si hay un exceso de lodo en el sistema y se va a perforar solo una pequeña cantidad de cemento, el lodo contaminado puede desecharse cuando llegue a la superficie, de cualquier manera, permanece una pequeña cantidad de cemento en el sistema, pero requiere poco tratamiento.

El tratamiento para la contaminación por cemento, puede hacerse:

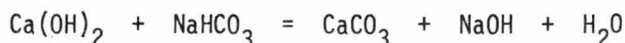
- 1) Tolerando el cemento.
- 2) Precipitando el cemento.

TRATAMIENTO CON SOSA Y DISPERSANTE ORGANICO.- Para reducir la alta viscosidad causada por la contaminación con cemento, el Spersene, Quebracho y Tann-Athin son muy efectivos. Las adiciones se hacen generalmente por el tanque de reactivos, directamente en las presas ó en el canal; no es necesario añadir sosa cáustica con el agente dispersante, si el lodo va a permanecer como lodo de bajo pH. Si se hacen adiciones de sosa cáustica, el lodo se convierte en lodo de alto pH.

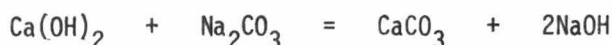
TRATAMIENTO CON FOSFATOS.- El tratamiento con el tetrafosfato y el pirofosfato ácido de sodio, son efectivos para éste tipo de contaminaciones. Los fosfatos eliminan el calcio y redispersan las arcillas; la concentración del tratamiento es aproximadamente de 50 lbs/barril de agua. Un efecto adicional del fosfato es bajar el pH, cosa que ayuda a bajar la viscosidad y la gelatinosidad.

TRATAMIENTO CON BICARBONATO Y SODA ASH.- El bicarbonato de sodio (NaHCO_3), puede usarse para tratar las contaminaciones por cemento en lodos que han tenido tratamiento de sosa y tanatos ó fosfatos.

El bicarbonato tiene poco efecto en lodos contaminados por cemento, que han tenido fuerte tratamiento con fosfatos y en algunos casos puede ser perjudicial. El tratamiento con bicarbonato tiene mayor éxito, si el pH tiene un valor de 8.3 cuando menos, al perforar el cemento. El bicarbonato precipita el calcio de la contaminación y el pH bajará a 8.3. La reacción que se lleva a cabo es la siguiente:



La soda ash (Na_2CO_3), no es tan sensible al pH ó al tratamiento previo, cuando se tratan contaminaciones por cemento; la reacción es la siguiente:



Para evitar el efecto floculante de la sosa formada, se usa un dispersante orgánico como tratamiento suplementario para reducir la viscosidad y la gelatinosidad.

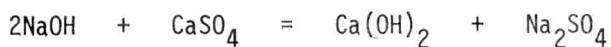
CONTAMINACION DE ANHIDRITA Y/O YESO.- La anhidrita (CaSO_4) y el yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), se encuentra en muchas áreas, sobre todo, en las que perforan en el Sureste de la República. Cuando se perfora anhidrita, el

efecto es similar a la contaminación por cemento, dando alta viscosidad, alta gelatinosidad y alta pérdida de agua. Hay sin embargo, una diferencia notable entre las dos contaminaciones; la anhidrita baja el pH del lodo, mientras que el cemento lo sube. Si se sospecha que la anhidrita es la causa de la floculación, deberán hacerse pruebas cualitativas para el calcio y los sulfatos.

Cuando se perforan grandes cantidades de anhidrita ó yeso, el mejor tratamiento es tolerar la contaminación cambiando el sistema a otro tipo de lodo. Cuando hay pequeñas capas, el lodo puede tratarse precipitando el calcio de la solución.

TRATAMIENTO SOSA-DISPERSANTE ORGANICO.- El lodo puede tratarse con sosa caústica y Spersene, la sosa se añade como sea necesario para -- ajustar el pH entre 9.5 y 10.5, haciendo las adiciones de Spersene necesarias, para mantener una buena dispersión. Cuando se desea un lodo de baja viscosidad y baja gelatinosidad, se necesita mayor cantidad de dispersante orgánico.

La reacción entre la sosa y el sulfato de calcio, produce cal -- como puede observarse:

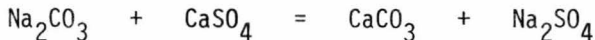


El lodo cálcico así formado, puede necesitar cantidades anormales de sosa caústica para mantener el pH, si se perforan grandes cantida-

des de anhidrita ó yeso, por lo que en ése caso, es preferible el lodo ba se yeso. Generalmente el espesor de las capas perforadas de anhidrita ó - yeso, no es muy grande, por lo que no es necesario el cambio de la base - del lodo.

TRATAMIENTO CON FOSFATO Y SODA ASH.- Pequeñas cantidades de --- anhidrita ó yeso, pueden tratarse con fosfatos ó soda ash. Los fosfatos - pueden emplearse, si no hay altas temperaturas que los afecten. La soda - ash es efectiva combinada con un dispersante orgánico.

La reacción es la siguiente:



TRATAMIENTO CON CARBONATO DE BARIO.- Cuando hay cantidades limi tadas de anhidrita, puede emplearse un tratamiento con carbonato de bario. El tratamiento es más efectivo, manteniendo el pH entre 9.0 y 9.5 y si no se han usado fosfatos, con éste pH se precipitan el calcio y los fosfatos, por la siguiente reacción:



El lodo debe tratarse con carbonato de bario, antes de perforar la anhidrita ó el yeso, para evitar la repentina subida de la viscosidad, continuando el tratamiento con 100 a 150 lbs/ft perforado, dependiendo és

to del tamaño del agujero. El tratamiento con carbonato de bario, no es - muy económico si se perforan gruesas capas de éstos contaminantes.

CONTROL DE LA PERDIDA DE AGUA.- El control de la pérdida de agua en los lodos de bajo y alto pH, se verifica generalmente, por adiciones - controladas de bentonita. La adición de bentonita puede aumentar la visco- sidad, pero el agua y el tratamiento químico adecuado, restaurarán las -- propiedades del lodo. En ésta forma pueden obtenerse pérdidas de agua --- hasta de 5 c.c.

Si se desea pérdidas de agua más bajas, pueden usarse los agen- tes comunes de control de pérdida de agua, agregando además, aceite die-- sel.

El Cypan ó el CMC sólido, pueden usarse en forma efectiva en lo- dos de bajo y alto pH. El almidón que está sujeto a fermentación, no pue- de aplicarse en lodos de bajo pH, a menos que se use un preservativo; pue- de usarse sin éste, en lodos que tengan un pH de 11.5 ó mayor.

El aceite diesel puede usarse para bajar la pérdida de agua, -- dando además, mejores cualidades lubricantes; usando el aceite con los -- agentes de control de pérdida de agua en forma combinada, se obtienen ex- celentes resultados.

SUMARIO.- Los lodos de bajo y alto pH de agua dulce, se usan ge- neralmente en el agujero superior donde no hay contaminaciones, ni proble- mas de concentración de sólidos y se usan bajos pesos. Puede usarse lodo- nativo con poco ó ningún tratamiento químico, para la perforación super--

ficial hasta el primer casing. Al progresar la perforación se incorporan - nuevos sólidos al sistema, necesitando agua y un tratamiento químico li gero.

A profundidades mayores, debido a la acumulación de sólidos, -- contaminaciones y las presiones encontradas, se hace necesario el trata-- miento químico y el aumento de peso. Los tratamientos comúnmente emplea-- dos son:

- 1) Fosfatos.
- 2) Combinaciones de fosfatos, sosa caústica y dispersantes orgá-- nicos.
- 3) Sosa caústica y dispersantes orgánicos.

La temperatura puede nulificar la acción de los fosfatos como - reductor de viscosidad, debiendo discontinuarse su uso, para tratar con - sosa y dispersante orgánico; algunas veces es necesario aumentar el pH - del lodo, convirtiéndolo a un lodo de alto pH.

CAPITULO V

CARACTERISTICAS DE FLUJO DE LOS FLUIDOS DE PERFORACION.

El comportamiento de los fluidos de perforación, en lo que respecta a su flujo, difiere grandemente de los fluidos verdaderos ó Newtonianos.

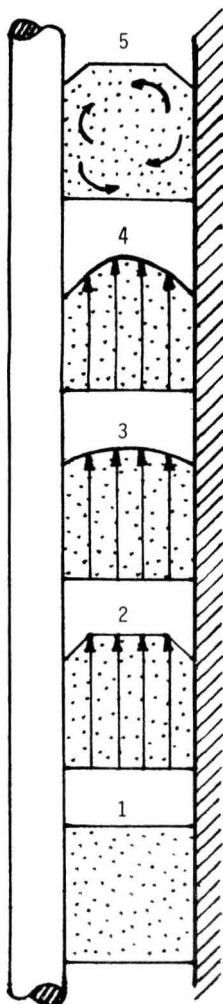
El conocimiento de las características de flujo de los lodos de perforación, es ventajosa en todas las fases de la perforación, para las elecciones y diseño de sistemas de lodos y sistemas de circulación, con el fin de obtener valores óptimos de circulación, para remover los cortes y aumentar los grados de penetración.

Una ilustración gráfica de la diferencia entre flujo Plástico y flujo Newtoniano, se muestra en la siguiente figura, la cual representa el flujo en tubo cilíndrico.

Para un fluido verdadero, la presión diferencial es proporcional a la velocidad, resultando una línea recta que pasa por el origen y cuya pendiente es una función directa de la viscosidad.

En el caso de los lodos de perforación, al bombearse éstos, atraviesan por varias fases de flujo en el agujero. (4)

En el primer paso, no hay flujo, durante éste período, la presión aplicada al lodo es insuficiente para producir un esfuerzo cortante en el lodo, cerca de las paredes de la tubería, para exceder la fuerza de



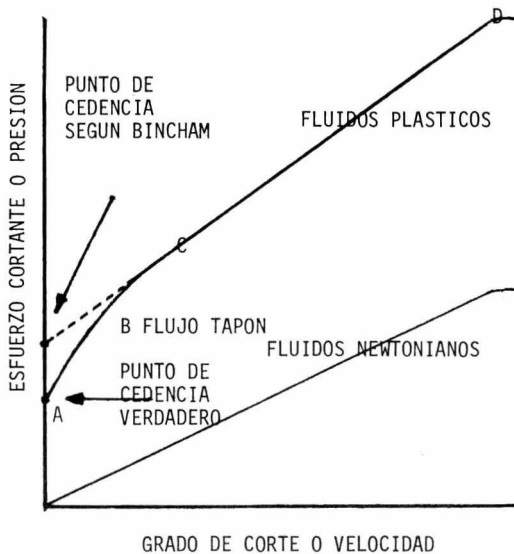
FLUJO
TURBULENTO

C a D
FLUJO
LINEAL

B a C
FLUJO
LINEAL
INCOMPLETO

A a B
FLUJO
TAPON

EN EL PUNTO A
ESTATICO



FACULTAD DE QUIMICA	
U N A M	ESTADOS DE FLUJO PARA FLUIDOS DE PERFORACION TIPO PLASTICO
TESIS PROFESIONAL	
ANGEL GARCIA SIBAJA	

fricción en el sistema. El valor máximo de ésta fuerza, es el verdadero - valor de "Cedencia" en el punto "A", llamado "Punto de Cedencia" ó "Yield Point".

El segundo paso, ocurre al exceder dicho valor y la presión es- ya suficiente, para mover el fluído en forma de tapón sólido (en forma pa- recida a la salida de la pasta dental del tubo), el tapón se lubrica por- una delgada película del lodo pegada al tubo. Esta porción del flujo, co- rresponde a la sección A-B de la figura.

El tercer paso ocurre cuando la presión aumenta lo suficiente, - para que el lodo comience a moverse con una velocidad diferencial. Esta di- ferencia se debe a la resistencia por fricción, que retarda el flujo en la vecindad de la tubería y la pared del agujero, dando por resultado un máxi- mo de velocidad en la porción central del espacio anular. Este paso del -- flujo, se muestra en la figura, por el segmento B-C de la curva.

Al aplicarse una mayor presión, el movimiento en la sección ---- transversal del fluído, es rápido en la parte central del espacio anular;- así el frente de velocidad cambia desde un frente esencialmente plano, --- hasta tomar la forma parabólica. Este es el cuarto paso del flujo, conside- rado éste, como flujo laminar ó lineal. La porción C-D de la curva, tendrá una pendiente constante cuando el fluído alcance el flujo laminar.

La velocidad del flujo puede aumentarse aún más, hasta que las - partículas del fluído, se salen del camino paralelo y se entremezclan en - forma desordenada, el flujo se convierte entonces en turbulento, como se -

ilustra en la figura. Bajo condiciones normales de circulación existen ó pueden existir, ambos tipos de flujo.

VISCOSIDAD Y FUERZA DE GELATINOSIDAD.

En la mayoría de las operaciones de perforación, dos de las propiedades del lodo más importantes, por lo que se refiere al fluído del -- mismo y a su control en general, son: Viscosidad y Fuerza de Gelatinosidad.

VISCOSIDAD.- La viscosidad de un fluído se define, "como la resistencia que opone el mismo al flujo".

La medida rutinaria de la viscosidad de los lodos de perforación, se hace con el embudo Marsh como norma y es el tiempo en segundos que tarda en pasar un litro de lodo, por dicho embudo.

La viscosidad Marsh no puede considerarse como un valor apropiado para todos los lodos, ésto quiere decir, que una viscosidad buena en un campo, puede fallar en otro, sin embargo, puede establecerse ó emplearse una regla común, que consiste en considerar como bueno, un valor de la viscosidad de cuatro veces el peso del lodo en g/cm^3 ; ésta regla puede fallar si se aplica a lodos de bajo peso, pero es muy aceptable para lodos de peso arriba de 1.40 g/cm^3 , ésta regla aplicada a un lodo con dicho peso, puede tener una viscosidad Marsh de 48 segundos.

El embudo Marsh sirve para determinar si el lodo está dentro --

del margen correcto de viscosidad, si no es así, el embudo es de poco valor, para determinar la causa; para una determinación en forma más efectiva de las propiedades de flujo, se usan viscosímetros del tipo rotacional, que miden la viscosidad en centipoises. El viscosímetro más empleado es el FANN, modelo V-G, con el cual se determinan los componentes de la viscosidad que influyen de manera determinante en el flujo y propiedades del lodo de perforación, dichos componentes son:

1.- Viscosidad Plástica.

2.- Punto de Cedencia (Yield Point).

Además con dicho viscosímetro, se determina también la gelatinosidad, que con los anteriores, forma el conjunto de componentes, que influye en la circulación del lodo.

VISCOSIDAD FANN MODELO V-G.

DESCRIPCION.- El modelo de laboratorio de éste viscosímetro opera con un motor de dos velocidades, sincrónico, de 110 volts. La base móvil puede fijarse por medio de un tornillo a los soportes, en la posición deseada.

El motor hace girar una manga de 3.5 pulgs. de largo, con un espacio entre dicha manga giratoria y la plomada de 0,5 pulgs. Esta forma de construcción elimina prácticamente, el flujo turbulento en las viscosidades normalmente encontradas, en lodos de perforación, a las velocidades

del instrumento. El viscosímetro es de lectura directa y puede operarse a velocidades diferentes; los cambios de velocidad se hacen cambiando los engranes por medio de un botón.

Las constantes del instrumento están ajustadas de tal manera, - que la viscosidad plástica y el punto de cedencia, se obtienen usando la lectura a dos velocidades: 300 y 600 rpm.

$$\text{Visc. Plástica (en cps)} = \text{Lect. a 600 rpm} - \text{Lect. a 300 rpm.}$$

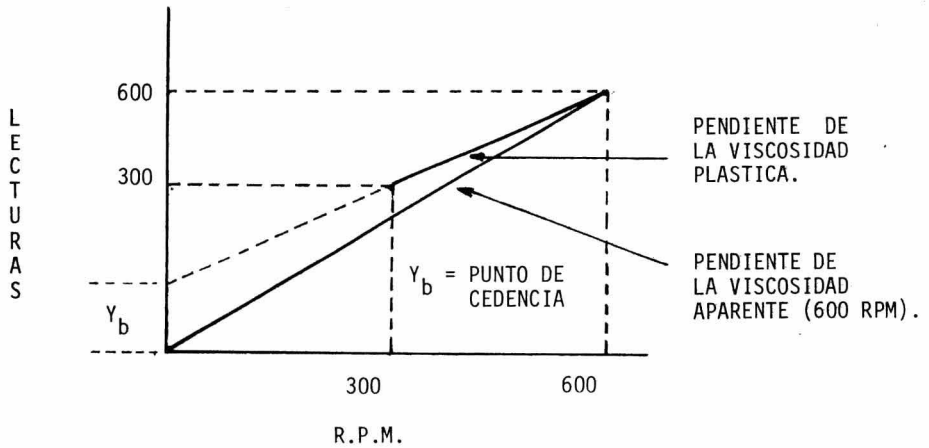
$$\text{Punto de Cedencia (lbs/100 ft}^2\text{)} = \text{Lect. a 300 rpm} - \text{V. Plást.}$$

Además de éstas características, se puede obtener por medio del aparato, una Viscosidad Aparente cuyo valor es de:

$$\text{Viscosidad Aparente (en cps)} = \text{Lectura a } \frac{600 \text{ rpm}}{2}$$

La viscosidad plástica y el punto de cedencia, son propiedades absolutas de flujo y reflejan el comportamiento coloidal de los sólidos presentes en el lodo. Ambas propiedades afectan la viscosidad Marsh; las medidas de viscosidad plástica y punto de cedencia, son útiles para determinar las causas de viscosidad Marsh anormales.

Una curva típica de flujo del lodo de perforación, tomada de -- acuerdo con el viscosímetro FANN, se representa en la siguiente figura:



CURVA TIPICA DEL FLUJO DEL LODO EMPLEANDO EL VISCOSIMETRO DE FANN V-G

VISCOSIDAD PLASTICA.- La viscosidad plástica es la parte de la resistencia al flujo, causada por la fricción mecánica.

Por definición, es la fuerza cortante después del punto de cedencia, que inducirá una unidad de velocidad de corte.

La fricción ocasionada por la viscosidad plástica, ocurre:

- 1) Entre los sólidos.
- 2) Entre los sólidos y el líquido que los rodea.

Para la mayoría de los fines prácticos, sin embargo, la viscosidad plástica depende de la concentración de los sólidos y de la forma y tamaño de los mismos.

En los lodos que contienen una gran concentración de sólidos en-

volumen, la fricción entre las partículas se incrementa, por aumentar el rozamiento entre las mismas, bajo tales condiciones, la viscosidad plástica es una medida de fricción, aumenta, al aumentar la viscosidad aparente. Si disminuye el diámetro de los sólidos, también aumenta la viscosidad plástica, pues aumenta el área de la superficie de las partículas y por consiguiente la fricción, ésto ocurre en los lodos de perforación, debido a la acción trituyente de la barrena.

Los sólidos en un lodo, se clasifican en activos e inertes, los cuales a su vez son de dos tipos, deseables e indeseables; los primeros son por ejemplo, la bentonita, la barita, los reactivos, etc., los cuales son agregados al lodo para llevar a cabo funciones específicas. Los indeseables, son los que no ayudan a mejorar la calidad del lodo, como por ejemplo, la arena, las lutitas productoras de lodo, dolomitas, etc.; la incorporación de éste tipo de sólidos, contribuye a aumentar la viscosidad aparente.

Se han construido gráficas de lodos a diferentes pesos, que indican de una manera muy aproximada, los límites superiores e inferiores posibles, de valores de la viscosidad plástica. Estos límites no son rígidos, pero se puede considerar que las gráficas, son de gran valor para el control del lodo.

Para reducir el valor de las viscosidades plástica y aparente ó lo que es lo mismo, disminuir la concentración de sólidos en el lodo, se puede llevar a cabo de varias maneras:

1) DILUCION.- En la mayoría de los casos se añade agua, disminuyendo de ésta manera la fricción entre las partículas.

2) CRIBA VIBRATORIA.- Esta criba quita al lodo las partículas mayores, reduciendo por tanto, la concentración de los mismos. Debe evitarse el agregar agua sobre la tela de la criba, ya que se lavan los cortes más finos y se incorporan al lodo.

3) Desarenadores.-Estos separan mecánicamente la arena del lodo, reduciendo de ésta manera la concentración de sólidos.

Se emplea la retorta FANN en unión del viscosímetro, para verificar la concentración de sólidos.

PUNTO DE CEDENCIA (YIELD POINT).- El segundo componente de la resistencia al flujo de un fluido de perforación, es una medida de las fuerzas electroquímicas del lodo. Estas fuerzas son el resultado de las cargas positivas y negativas que hay en las partículas localizadas en ó cerca de la superficie. Sus unidades son $\text{lbs}/100 \text{ ft}^2$.

El punto de cedencia es una medida de éstas fuerzas bajo las condiciones de flujo y depende de:

- 1.- Las propiedades de superficie de los sólidos del lodo.
- 2.- Concentración en volumen de sólidos.
- 3.- Envoltura eléctrica de éstos sólidos (Concentración y tipo de iones en la fase fluida del lodo).

CAUSAS DEL AUMENTO EN EL PUNTO DE CEDENCIA.

El aumento en el punto de cedencia, que tiene como consecuencia un aumento de viscosidad en el lodo, se incrementa generalmente por los siguientes factores:

1) Introducción de contaminantes solubles en el lodo, tales como: sal, cemento, anhídrita ó yeso, los cuales neutralizan las cargas negativas de las partículas de arcilla, ésto causa un efecto de floculación en el lodo.

2) Rotura de las partículas de arcilla por trituración en la barrena, dando por resultado fuerzas residuales en los bordes rotos de las partículas. Estas fuerzas tienden a juntas las partículas en forma desorganizada, produciendo floculación en el lodo.

3) Introducción de más sólidos inertes en el sistema, ésto se debe a que las partículas se mueven más cerca unas de otras. El estar separadas se atraen débilmente, pero al disminuir la distancia, aumenta la atracción entre dichas partículas.

4) Al perforar sólidos hidratables como arcillas ó lutitas, se introducen sólidos activos nuevos en el sistema. Esto aumenta las fuerzas de atracción de las partículas y aumenta el número total de cargas.

5) Un tratamiento químico insuficiente ó excesivo, aumenta también las fuerzas de atracción.

El punto de cedencia, se puede reducir con tratamiento químico; al reducirse las fuerzas de atracción por éste medio, el valor del punto de cedencia se verá disminuído.

METODOS PARA REDUCIR EL PUNTO DE CEDENCIA.

1.- Las valencias de ligaduras rotas, se pueden neutralizar por adsorción de ciertos iones negativos al extremo de las partículas de arcilla. Estas valencias residuales son satisfechas casi completamente por -- reactivos, tales como, los taninos, ligninas, fosfatos complejos, etc.

2.- En un caso de contaminación con calcio, el ión que causa -- las fuerzas de atracción, puede ser eliminado formando un precipitado insoluble (fosfato complejo, soda ash, carbonato de bario, etc.).

3.- Puede usarse agua para reducir el punto de cedencia, pero a menos que la concentración de sólidos sea alta, ésto es relativamente inefectivo y costoso; generalmente el agregar agua, afecta todas las propiedades del lodo, es decir, aumenta la pérdida de agua, baja el peso del lodo, etc.

FUERZA DE GELATINOSIDAD.- Las medidas de gelatinosidad a ciertos intervalos de tiempo, denotan las propiedades tixotrópicas del lodo, -- dichas medidas se hacen en reposo; por otra parte, la viscosidad plástica en el punto de cedencia son propiedades de flujo. La gelatinosidad y el -- punto de cedencia, son funciones de la fuerza de floculación; al dismi---

nuir el segundo, disminuye también la gelatinosidad, sin embargo, un valor bajo del punto de cedencia, no implica que las gelatinosidades sean cero.- Pueden ser necesarios dispersantes químicos para reducir la gelatinosidad, sin que ésto reduzca la viscosidad aparente.

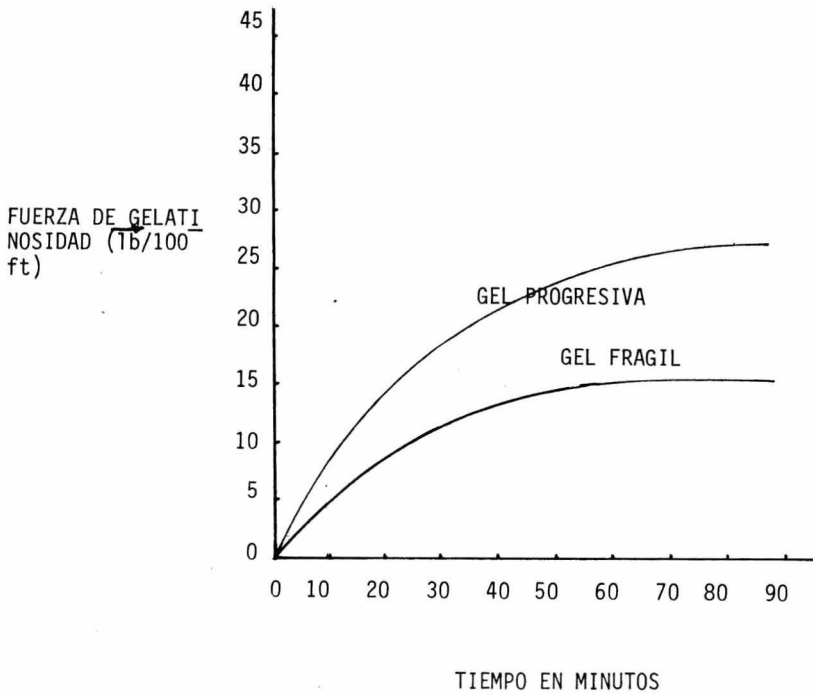
Se conocen dos tipos de gelatinosidad: Progresiva y Frágil.

Una gelatinosidad progresiva, es la que comienza con un valor bajo y aumenta en forma constante al transcurrir el tiempo. Este tipo es una gelatinosidad firme, que requiere aumento en la presión de bombeo, para -- romper la circulación, tal gelatinosidad se presenta cuando hay una alta - concentración de sólidos y puede causar problemas.

La gelatinosidad frágil, puede comenzar con un valor alto y amentar muy poco con el tiempo; ésta gelatinosidad es generalmente fácil de -- romper, ésto significa menor presión de bombeo para romper la circulación.

La gelatinosidad del lodo es muy importante y su presencia no significa siempre, que el lodo está en malas condiciones, solamente tendrá malos efectos, cuando se trata de gelatinosidad progresiva.

En la siguiente gráfica, se ilustran los tipos de gelatinosidad- citadas:



REPRESENTACION GRAFICA DE LA FUERZA DE GELATINOSIDAD PROGRESIVA Y FRAGIL.

CONCLUSIONES.- Un alto valor en la viscosidad de los lodos, puede ser causado por:

- 1) Concentración de sólidos.
- 2) Grado de dispersión de los mismos.

La dispersión y floculación, dependen principalmente del pH y de las fuerzas de atracción y repulsión que hay entre las partículas en suspensión. La viscosidad aparente ó fluidéz de un lodo, se compone de dos variables, la viscosidad plástica y el punto de cedencia; un aumento en cualquiera de éstas variables, afectará a la viscosidad aparente.

Con relación a las propiedades de flujo del lodo de perforación, puede hacerse la siguiente generalización, para un control más económico del lodo:

1.- Un aumento en el punto de cedencia, con un cambio pequeño ó sin cambio en la viscosidad plástica, puede reducirse con la adición de reactivos solamente.

2.- Un aumento en la viscosidad plástica, acompañado de poco ó ningún cambio del punto de cedencia, puede controlarse con agua ó con algunos de los dispositivos que sirven para desechar sólidos.

3.- Aumentos simultáneos en el punto de cedencia y en la viscosidad plástica, pueden tratarse por una combinación de los dos métodos anteriormente citados.

La experiencia en una área particular, determinará las viscosidades plásticas mínimas para cada peso del lodo, con el fin de obtener las propiedades satisfactorias; lo mismo puede decirse de las propiedades que se han tratado en éste capítulo y que son, el punto de cedencia y gelatinosidad. Estas características de flujo, son de ayuda si se obtienen datos continuos del lodo y se observan las tendencias de variación de cada propiedad.

Como en todo problema de control del lodo, las tendencias son más importantes que los valores absolutos,

C A P I T U L O V I

CALCULO DE LA CAIDA DE PRESION EN EL SISTEMA HIDRAULICO DE UN POZO PETROLERO.

BARRENAS DE BOQUILLAS O DE CHORROS.- El uso de barrenas de chorro en la perforación rotaria, trajo como consecuencia un avance mayor en menor tiempo. Las ventajas que sobre las barrenas convencionales, tienen las barrenas de chorro, se describen a continuación:

a) Avances más rápidos, notables sobre todo en formaciones --- blandas, ya que en éste tipo de formaciones, es prácticamente el chorro - el que perfora.

b) Reducción en el número de barrenas empleadas en la perforación de un pozo.

c) Menos problemas por embolamientos ó atascamientos de los conos de la barrena, teniendo como consecuencia ésto, mayor duración de la misma.

d) Mejor aprovechamiento de la potencia y del sistema en general.

Aunque el uso de éste tipo de barrenas tiene también sus desventajas, éstas son menores, por lo que el empleo de las barrenas de chorro están más ó menos generalizadas en la perforación.

La aplicación de barrenas de chorro, trajo entonces una evolución en el sistema de perforación, por ejemplo, se usan en la actualidad pesos de lodo más bajos y lo mismo puede decirse de los valores de las viscosidades usadas.

Por lo que respecta a la tubería de perforación, se emplea del mayor diámetro posible (interior), para reducir de ésta manera, las pérdidas por fricción; al mismo tiempo se tiene cuidado, de no excederse en el diámetro exterior de la misma, ya que al ser mayor éste, se tenderá a reducir el espacio anular, provocando de ésta manera, un aumento en la caída de presión en dicho espacio. Por las razones anteriores, es recomendable no perforar con tuberías menores de 3 1/2 pulgadas de diámetro, ya que las caídas de presión originadas, barían necesario el uso de equipos de mayor potencia.

El uso de barrenas de chorro en la perforación, requiere para cada pozo, el cálculo de un programa hidráulico que se seguirá durante la perforación; afortunadamente el cálculo de dichos programas, se ve facilitado gracias a las gráficas y tablas suministradas por las casas fabricantes de barrenas.

Los programas hidráulicos se pueden calcular por dos métodos:

1.- Análítico, con bastante exactitud, presentando el inconveniente de tomar mucho tiempo su cálculo.

2.- Otro método más bien gráfico y cuya exactitud se considera buena, tiene la ventaja de que la secuela de cálculo es muy rápida y fá-

cil, siendo por éstas razones, el que se sigue en la práctica.

CAIDA DE PRESION EN EL SISTEMA.

En éste trabajo, se hará la descripción analítica del cálculo -- únicamente como guía de ilustración, ya que en la práctica nunca se aplica y se hace ésta descripción, porque comprende la teoría del análisis hidráulico para la perforación de pozos petroleros.

El cálculo analítico, requiere del conocimiento de los elementos que consume la potencia, para que pueda ser utilizado con más ventaja, un mayor promedio de energía; ésto dependerá de varios factores, entre los -- cuales se citan en primer lugar, las propiedades del lodo, que se refieren a sus características de flujo.

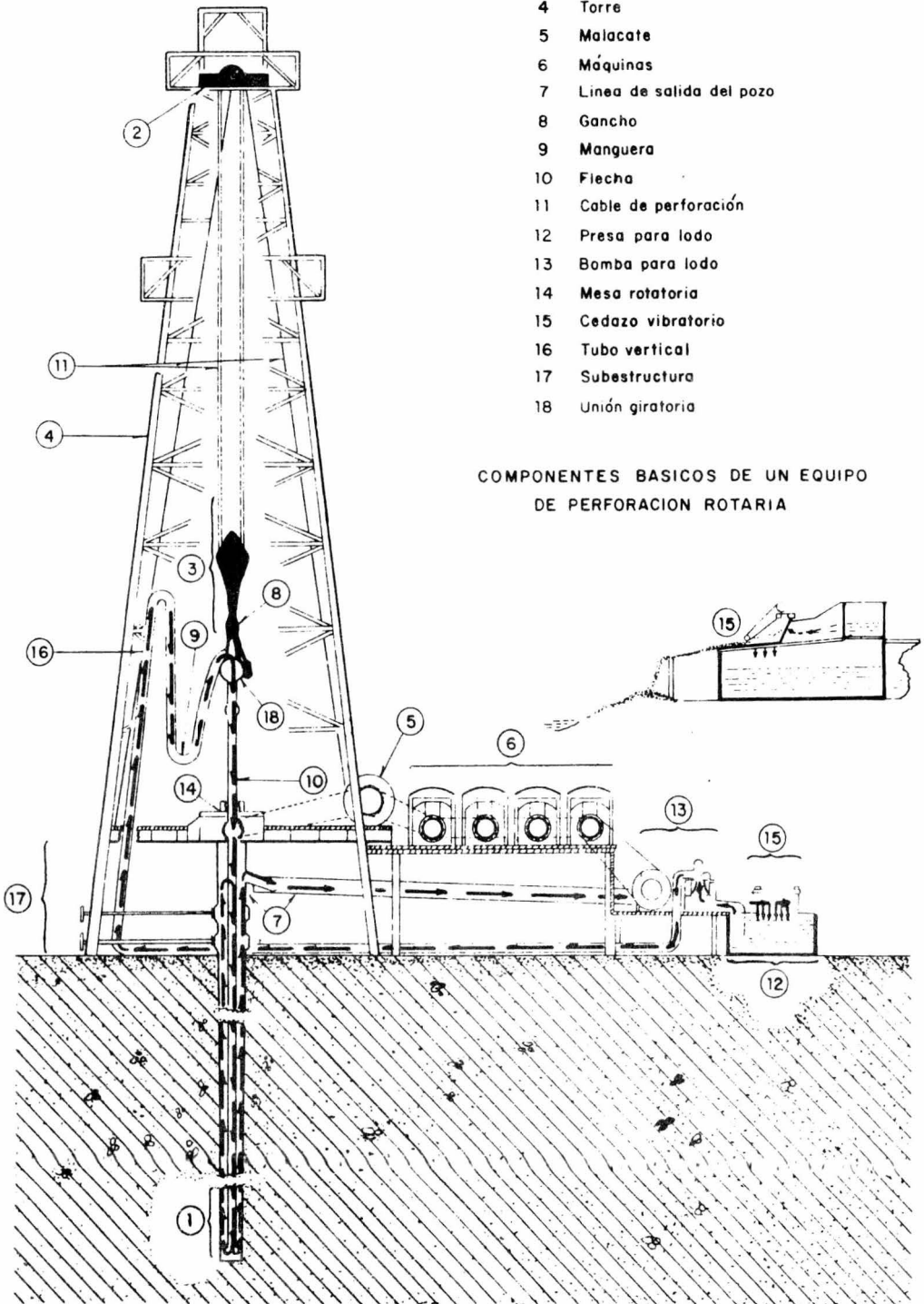
La potencia para la circulación del lodo, es suministrada por la bomba de lodos, la cual hace circular al mismo a través del sistema, por -- lo cual es necesario dejar establecido, el circuito que recorre el lodo y -- que se representa en el esquema de la siguiente página.

Dicho recorrido es el siguiente:

El lodo es succionado por la bomba de la presa de succión, sale -- por la descarga de la bomba, pasa a través de un múltiple de distribución, del tubo de pie, manguera de perforación, cuello de ganso, unión giratoria y flecha; a partir de ahí, entra a la tubería de perforación, a través de -- la cual llega a los lastra barrenas, pasa a través de las boquillas de la-

- 1 Barrena y lastrabarrenas
- 2 Poleas fijas (Corona)
- 3 Polea viajera
- 4 Torre
- 5 Malacate
- 6 Máquinas
- 7 Línea de salida del pozo
- 8 Gancho
- 9 Manguera
- 10 Flecha
- 11 Cable de perforación
- 12 Presa para lodo
- 13 Bomba para lodo
- 14 Mesa rotatoria
- 15 Cedazo vibratorio
- 16 Tubo vertical
- 17 Subestructura
- 18 Unión giratoria

COMPONENTES BASICOS DE UN EQUIPO
DE PERFORACION ROTARIA



barrena y regresa hacia arriba por el espacio anular, sale por la línea - de flote, pasa por la criba vibratoria, saliendo por el canal, para finalmente, llegar de nuevo a las presas.

Puesto que el lodo entra al pozo por la tubería de perforación y regresa por el espacio anular, hasta el mismo nivel ó elevación, la presión requerida para la circulación, es solamente la necesaria para satisfacer las pérdidas por fricción a través de todo el sistema..

Por lo tanto, la pérdida de presión en todo el sistema (que será la presión de descarga de la bomba), se puede definir como:

$$\Delta P_t = \Delta P_s + \Delta P_p + \Delta P_l + \Delta P_b + \Delta P_{al} + \Delta P_{ap}$$

De donde:

ΔP_t = Pérdida de presión total.

ΔP_s = Pérdida de presión en conexiones superficiales.

ΔP_p = Pérdida de presión dentro de la tubería de perforación.

ΔP_l = Pérdida de presión dentro de las lastra barrenas.

ΔP_b = Pérdida de presión a través de las boquillas de la barrena.

ΔP_{al} = Pérdida de presión en el espacio anular alrededor de los - lastra barrenas.

ΔP_{ap} = Pérdida de presión en el espacio anular alrededor de la tubería de perforación.

La solución de la ecuación anterior es tediosa, por tener que --

calcular cada miembro por separado, sin embargo, con un poco de experiencia, resulta fácil, sobre todo porque se cuenta con tablas y gráficas.

Para el análisis de dicha ecuación, es necesario conocer el comportamiento del lodo de perforación, puesto que es el que ocasiona las caídas de presión en el sistema.

Aunque lo que interesa en éste trabajo, es el flujo del lodo, - el cual pertenece al tipo de fluídos plásticos, cuyas características de flujo, se discutieron ya en capítulo anterior, es necesario analizar primero las ecuaciones para fluídos Newtonianos, ya que las usadas para el cálculo de flujo de fluídos plásticos, son una variación de las primeras.

CALCULO PARA FLUJO DE FLUIDOS NEWTONIANOS.

El flujo de fluídos a través de tubos, es considerado como LAMINAR ó TURBULENTO.

En el flujo laminar, el fluído se mueve en capas paralelas ó láminas, las cuales son todo el tiempo paralelas a la dirección del flujo.- En el flujo turbulento, aparecen irregularidades secundarias y remolinos en la porción media del flujo,

Los cálculos de la caída de presión para el flujo en tubos, requieren un conocimiento del tipo del flujo, que pertenece a cada caso, ya que se aplican diferentes ecuaciones para cada tipo.

La definición del tipo de flujo existente, está dado por un gru

po adimensional, conocido por el nombre de NUMERO DE REYNOLDS:

$$R_e = 928 \frac{dv \rho}{\mu} \dots (1)$$

De donde:

R_e = Número de Reynolds.

d = Diámetro interior de la tubería, en pulgs.

v = Velocidad media, en ft/seg. = $g/2.45d^2$

ρ = Densidad del fluido, en lbs/gal.

μ = Viscosidad del fluido, en centipoises.

g = Volumen de circulación, en gal/min.

2.45 = Constante de conversión, para unidades usadas.

Se considera generalmente, que si:

$R_e < 2,000$, el flujo es laminar.

$R_e > 4,000$, el flujo es turbulento.

Si:

$2,000 < R_e < 4,000$, el flujo está en transición, no es ni laminar-
ni turbulento.

La aparición de la turbulencia, es acelerada por cualquier irregularidad ó condición de entrada, la cual cambiará el tipo de flujo.

La caída de presión en el flujo laminar, está dado por la ecuación de Poiseuille, que en unidades prácticas es:

$$P = \frac{\mu L v}{1,500 d^2} \quad \dots (2)$$

De donde:

ΔP = Caída de presión para flujo laminar, en lbs/in².

L = Longitud de la tubería, en ft.

Para flujo turbulento, se aplica la ecuación de Fanning:

$$\Delta P = \frac{f \rho L v^2}{25.8 d} \quad \dots (3)$$

De donde:

ΔP = Caída de presión para flujo turbulento, en lbs/in².

f = Factor de fricción de Fanning.

El factor de fricción f , es una función del No. de R_2 y de la rugosidad de la tubería y ha sido evaluado experimentalmente, para varios materiales; en algunos casos se ha trazado un valor de $4f$, en éstos casos se usa el valor de f ; dicho valor debe ser checado, tomando en cuenta, que $f \approx 0.013$, para un No. de $R_e = 2,000$.

En conclusión, nosotros podemos calcular la caída de presión para flujos Newtonianos, de la siguiente manera:

Si $R_e < 2,000$, se usa la ecuación de Poiseuille, ec. (2).

Si $R_e > 2,000$, se usa la ecuación de Fanning, ec. (3).

CALCULO PARA FLUJO DE FLUIDOS PLASTICOS.

Como ya quedo anotado en capítulo anterior, el comportamiento de los fluidos plásticos, tipo al que pertenece el fluido de perforación, es complicado por la variación de la viscosidad aparente con el grado de fluio ó grado de corte. Consecuentemente, las ecuaciones para fluidos Newtonianos, deben ser reforzadas para la aplicación a los sistemas típicos de lodos de perforación.

Se puede considerar que los primeros investigadores sobre ésta-materia, fueron Pigott y Bingham, cuyas investigaciones han sido amplia-mente usadas, para la construcción de tablas y curvas sobre hidráulica de lodos de perforación.

Para valores prácticos de la velocidad, el comportamiento de -- los fluidos plásticos ó de Bingham, puede ser expresado para la caída de- presión, por la ecuación:

$$\Delta P = \frac{LY_b}{300d} + \frac{\mu_p vL}{1500d^2} = \frac{L}{300d} \left(Y_b + \frac{\mu_p v}{5d} \right) \dots\dots (4)$$

De donde:

$$Y_b = \text{Punto de cedencia, en lbs/100 ft}^2.$$

μ_p = Viscosidad plástica en centipoises.

Esta ecuación, puede ser usada en casos en que exista el flujo laminar.

La determinación de la característica del flujo (laminar ó turbulento), se hace por comparación de la velocidad actual, con la velocidad crítica calculada.

CALCULO DE LA VELOCIDAD CRITICA.

Si se igualan las ecuaciones (2) y (4), se obtiene una ecuación que nos da la equivalencia, de una viscosidad Newtoniana en términos de d , v , μ_p y γ_b , dicha ecuación es la siguiente:

$$\mu = \frac{5d\gamma_b}{v + \mu_p} \dots (5)$$

Sustituyendo éste valor de μ , de la ecuación (5), en la ecuación para el No. de R_e e igualando la ecuación resultante con 2,000, resolviendo para v , se tiene:

$$v_c = \frac{1.08\mu_p + 1.08 \sqrt{\mu_p^2 + 9.3 \rho d^2 \gamma_b}}{\rho d} \dots (6)$$

De donde:

v_c = Velocidad crítica, en ft/seg.

arriba del cual, existe el flujo turbulento y abajo el flujo laminar.

La ecuación (6), supone que la turbulencia ocurre en un No. de $R_e = 2,000$. Esto es razonable, ya que la rotación y las juntas de la tubería de perforación, promueven la turbulencia a éste valor tan bajo del No. de R_e .

Por lo tanto, si:

$v < v_c$, el flujo es laminar.

$v > v_c$, el flujo es turbulento.

CALCULOS PARA FLUJO TURBULENTO.

La ecuación de Fanning, puede ser usada para cálculos de flujo turbulento, previendo que la expresión para el No. de R_e , va a estar alterada por la sustitución de:

$$\mu_t = \frac{\mu_p}{3.2} = \text{viscosidad turbulenta de flúidos plásticos.} \\ \dots (7)$$

Estos son descubrimientos experimentales de Beck, Nuss y Dunn, - según los cuales, la viscosidad para flúidos plásticos en el flujo turbulento, permanece constante, como se define en la ecuación (7).

Esta premisa ha sido discutido por Havenaar, quién propone que -

se use una expresión diferente, basada en el porcentaje en volumen de sólidos en el lodo. Afortunadamente, los errores en los cálculos para la de terminación de la viscosidad en flujo turbulento, tiene un efecto pequeño y la ecuación (7), se puede usar para nuestro propósito.

La sustitución de μ_t por μ , en la ecuación del No. de R_e , da -- por resultado:

$$R_e = \frac{9280\rho vd}{\mu_t} = \frac{2970\rho vd}{\mu_p} \dots\dots (8)$$

La gráfica del diagrama de Stanton, permite el cálculo del factor f , para tuberías y agujeros. Este valor de f , entonces debe ser usado en la ecuación (3) de Fanning, para el cálculo de la caída de presión.

En conclusión, se puede calcular la caída de presión, de la siguiente manera:

- 1.- Se calcula v_c , a partir de la ecuación (6).
- 2.- Si $v < v_c$, el flujo es laminar y se aplica la ecuación (4).
- 3.- Si $v > v_c$, el flujo es turbulento, requiriendo:
 - (a) El cálculo del No. de R_e por la ecuación (8).
 - (b) La determinación de f del diagrama de Stanton, con el - No. de R_e para el conducto en cuestión.
 - (c) Cálculo de la caída de presión, por la ecuación (3).

DIAMETRO ANULAR EQUIVALENTE..- Para flujo anular, es necesario -

usar un diámetro circular hipotético d_a , el cual, es el equivalente ---- hidráulico del sistema anular considerado.

El radio hidráulico es un concepto satisfactorio para éste propósito y se define como:

$$r_h = \frac{\text{área de la sección transversal al flujo.}}{\text{perímetro mojado del conducto.}}$$

r_h = Radio hidráulico.

Para un anillo ó espacio anular se tiene:

$$r_h = \frac{\pi(r_1^2 - r_2^2)}{2\pi(r_1 + r_2)} = \frac{r_1 - r_2}{2}$$

De donde:

r_1 y r_2 , son el radio mayor y menor respectivamente.

Para una tubería circular:

$$r_h = \frac{r^2}{2\pi r} = \frac{r}{2}$$

La pérdida por fricción en un anillo, es igual a la pérdida en - un tubo circular que tenga el mismo radio hidráulico, entonces en términos generales:

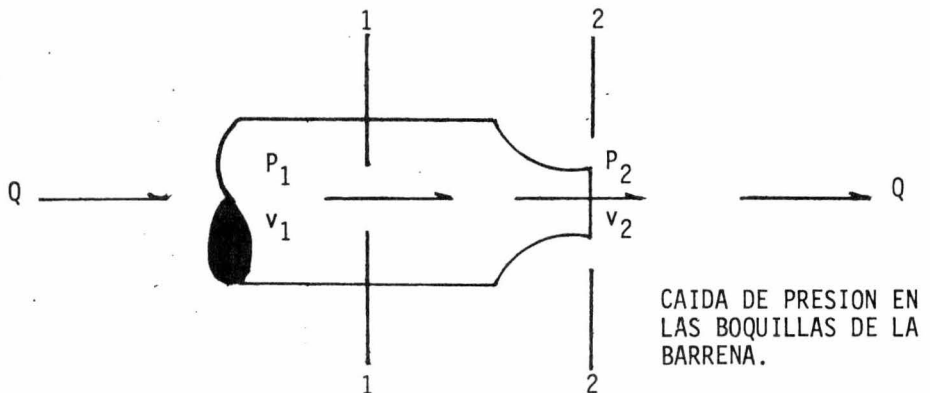
$$r_a = r_1 - r_2 \text{ ó también } d_a = d_1 - d_2$$

De donde:

r_a y d_a , son los radios y diámetros hidráulicos equivalentes de una tubería circular, los cuales se usan en la ecuación de pérdida de presión.

CAIDA DE PRESION EN LAS BOQUILLAS DE LA BARRENA.

El paso del lodo a través de las boquillas de la barrena, requiere también un estudio especial, ya que en primer lugar, el gasto se dividirá en tantas partes, como boquillas tenga la barrena y la forma que asume el fluido al pasar del tubo a la boquilla, necesita analizarse detalladamente. Esto se ilustra en la siguiente figura:



DISEÑO ESQUEMATICO DE UN FLUIDO INCOMPRESIBLE FLUYENDO A TRAVES DE UN TUBO CONVERGENTE O BOQUILLA.

La sección 1-1 corresponde a la tubería y la sección 2-2 a las boquillas.

Suponiendo un estado uniforme, adiabático y sin fricción, se tiene aplicando el teorema de Bernoulli:

$$\frac{P_1}{w} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{w} + \frac{v_2^2}{2g}$$

De donde:

P_1 y P_2 = Presiones en lbs/ft^2 .

w = Densidad en lbs/ft^3 .

v_1 y v_2 = Velocidades en los puntos 1 y 2, en ft/seg .

Esta última ecuación se puede poner en la forma:

$$\frac{\Delta P}{w} = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} \dots\dots (A)$$

En la práctica se puede considerar que:

$$v_2^2 - v_1^2 \approx v_2^2$$

Por lo que se tiene:

$$v_2^2 = 2g \frac{\Delta P}{w}$$

Ahora bien, el grado ideal de flujo sería:

$$Q_i = A_2 v_2$$

El grado real de flujo es:

$$Q = C Q_i$$

Donde C, es el coeficiente de flujo ó coeficiente de boquilla,- para un diseño en particular.

Con éstas sustituciones, la ecuación (A) para la caída de presión, queda en la siguiente forma:

$$\Delta P = \frac{w Q^2}{2 g C^2 A_2^2} \dots\dots (B)$$

Y en unidades prácticas para el flujo del lodo:

$$\Delta P = \frac{q^2 \rho}{7430 C^2 d^4} \dots\dots (C)$$

De donde:

d = Diámetro de la boquilla, en pulgadas.

Eckel y Bielstein, han demostrado que C puede tener un valor de - 0.98, para boquillas de barrenas, sin embargo, para los cálculos de perforación

ción, se toma un valor para $C = 0.80$ para boquillas y agujero.

BOQUILLAS MÚLTIPLES..- Normalmente, una barrena tiene el mismo - número de boquillas y de conos (se ha generalizado el uso de barrenas de tres conos). El cálculo de la caída de presión a través de una barrena de varias boquillas, puede simplificarse por sustitución de la suma de las - áreas de las boquillas, por una área A . En la ecuación (B), se tiene para una boquilla:

$$\Delta P = \frac{wQ^2}{2gC^2A^2}$$

Para varias boquillas, cada una de área A_1 :

$$\Delta P_m = \frac{wQ_1^2}{2gC^2A_1^2}$$

Sin embargo:

$$Q_1 = \frac{Q}{n}$$

De donde: n = Número de boquillas.

Por lo tanto:

$$\frac{\Delta P_m}{\Delta P} = \frac{Q_1^2}{Q^2} = \frac{A^2}{A_1^2} = \frac{Q_1^2 A^2}{n^2 Q_1^2 A_1^2}$$

Se desea hallar un valor de A tal, que:

$$\frac{A^2}{n^2 A_1^2} = 1$$

Por lo tanto: $A^2 = n^2 A_1^2$ ó $A = n A_1$

que es lo que se quería demostrar.

Similarmente, para usar la ecuación (C):

$$d_e = \sqrt{nd^2}$$

donde las boquillas varían en tamaño:

$$d_e = \sqrt{ad_1^2 + bd_2^2 + \dots}$$

De donde:

a = Número de boquillas, de diámetro d_1 .

b = Número de boquillas, de diámetro d_2 .

d_e = Diámetro hidráulico equivalente para una sola boquilla, en pulgadas.

NOTA.- Las unidades son en las fórmulas anteriores;

Densidad: lbs/gal.

Gasto : gal/min.

Diámetro: Pulgs.

CALCULO DE LA CAIDA DE PRESION DE UN SISTEMA TIPICO DE PERFORACION.

Para ilustrar los cálculos de la pérdida de presión para cada -- componente del sistema, desarrollaremos un ejemplo completo.

Se sabe que la caída de presión total en el sistema, es la suma de las pérdidas en cada sección. Considerando ésto, se tienen las siguientes condiciones de operación.

DATOS DE OPERACION:

PROFUNDIDAD = 6000 ft. (5500 ft. de tubería de perforación y 500 ft. de drill collars).

TUBERIA DE PERFORACION = 4 1/2 in. O.D. = 3.826 in. I.D.

DRILL COLLARS (Collares de perforación) = 6 3/4 in. O.D. = 2.813 in. I.D.

DENSIDAD DEL LODO (ρ_m) = 10 lb/gal.

VISCOSIDAD PLASTICA (μ_p) = 30 cp.



PUNTO DE CEDENCIA (Y_b) = 10 lb/100 ft².

BARRENA = Diámetro de 7 7/8 in., con tres conos y tres boquillas ó jets. (Una boquilla por cada cono).

VELOCIDAD EN LAS BOQUILLAS.- Por lo menos 25 ft/seg. por cada pulgada de diámetro de la barrena. (Este valor se obtiene por medio de una regla comúnmente aplicada en éste tipo de cálculos).

De acuerdo con lo anterior y tomando en cuenta el diámetro que tenemos, la velocidad en las boquillas será de 200 ft/seg., aproximadamente. (Valor obtenido al multiplicar los 25 ft/seg., considerados por cada pulgada de diámetro de la barrena por el tamaño de la barrena, para éste caso).

Ahora, se trata de calcular la potencia hidráulica de la bomba en éstas condiciones de operación.

CALCULOS:

1) GASTO.- Se obtiene de la velocidad anular deseada, necesaria para una adecuada limpieza del agujero (acarreó de cortes). Supongamos que la perforación es rápida, por estar en una formación suave y que la velocidad de ascensión es de 180 ft/min. (3ft/seg.), basada en el tamaño del agujero.

2) El valor del flujo q , se da normalmente en gal/min., por lo-

que aplicamos la siguiente ecuación:

$$q = 2.45 \times \text{área anular} \times \text{velocidad.}$$

$$q = 2.45 (d_h^2 - d_p^2) v.$$

De donde: d_h = Diámetro del agujero.

d_p = Diámetro de la tubería.

v = Velocidad del flujo.

2.45 = Factor de conversión.

Resolviendo:

$$q = 2.45 (d_h^2 - d_p^2) v.$$

$$q = 2.45 (7.875^2 - 4.5^2) (3).$$

$$q = 2.45 (62.0 - 20.2) (3).$$

$$q = 308 \text{ gal/min.}$$

3) TAMAÑO DE LAS BOQUILLAS.- Se tienen tres boquillas (una por cada cono), de ahí que un tercio de q será el flujo a través de cada boquilla. Se tomará una velocidad media a través de las boquillas, de 250 ft/seg., -- (valor supuesto). La ecuación a aplicar es:

$$d = \sqrt{\frac{q/3}{2.45 v}}$$

$$d = \sqrt{\frac{308/3}{(2.45) (250)}} = \sqrt{\frac{103}{(2.45) (250)}}$$

$$d = 0.41 \text{ in.}$$

La boquilla más próxima es la de 13/32 in., por lo que ésta es la boquilla escogida en cuanto a tamaño.

El tamaño de ésta boquilla, permite tener una velocidad de:

$$v = \frac{q^3}{2.45d^2}$$

$$v = \frac{308/3}{(2.45) (13/32)^2}$$

$$v = \frac{103}{(2.45) (0.41)^2}$$

$$v = \frac{103}{0.41} = 250 \text{ ft/seg.}$$

$$v = 250 \text{ ft/seg.}$$

4) PERDIDAS EN EL EQUIPO DE SUPERFICIE.-El equipo de superficie consiste, en el tubo de pie (STAND PIPE), unión giratoria (SWIVEL), flecha (KELLY JOINT) y la tubería entre la bomba y el tubo de pie. Puesto que, ésta parte del sistema solamente causa una pequeña fracción del total de las pérdidas, tomamos como base, el caso número 2 de la siguiente gráfica (Apendice II), ya que es muy aproximado al caso que se está desarrollando, se tiene que el valor de la caída de presión es aproximadamente:

$$P \approx 30 \text{ psi.}$$

5) CAIDA DE PRESION DENTRO DE LA TUBERIA DE PERFORACION.- La velocidad crítica se calcula por medio de la ecuación:

$$v_c = \frac{1.08\mu_p + 1.08\sqrt{\mu_p^2 + 9.3\rho_m d^2 Y_b}}{\rho_m d}$$

De donde: μ_p = Viscosidad plástica.

ρ_m = Densidad del lodo.

d = Diámetro de la tubería (I.D.).

Y_b = Punto de cedencia.

Sustituyendo los valores y desarrollando, se tiene:

$$v_c = \frac{(1.08)(30) + 1.08\sqrt{(30)^2 + (9.3)(10)(3.826)^2(10)}}{(10)(3.826)}$$

$$v_c = 4.2 \text{ ft/seg.}$$

La velocidad dentro de la tubería de perforación, se calcula por medio de la ecuación:

$$v = \frac{q}{2.45d^2}$$

$$v = \frac{308}{(2.45)(3.826)^2}$$

$$v = 8.58 \text{ ft/seg.}$$

Puesto que:

$$8.58 \text{ ft/seg.} > 4.2 \text{ ft/seg.}$$

El flujo que se tiene es turbulento.

Aplicando la ecuación del No. de R_e , para éste caso (Fluidos - plásticos) y sustituyendo sus respectivos valores, se tiene:

$$R_e = \frac{2970 D V \rho}{\mu_p}$$

$$R_e = \frac{(2970)(10)(8.58)(3.826)}{30}$$

$$R_e = 32500$$

Acudiendo a la gráfica (Fig. 1), curva No. II, se encuentra que el valor del factor de fricción (f), es:

$$f = 0.0066$$

Ahora, se aplica la siguiente ecuación para encontrar la caída de presión:

$$\Delta P_p = \frac{f \rho L v^2}{25.8 d}$$

De donde: f = Factor de fricción.

ρ = Densidad del lodo.

L = Longitud de la tubería.

v = Velocidad del fluido.

d = Diámetro de la tubería.

25.8 = Factor de conversión.

Sustituyendo los valores, se tiene:

$$\Delta P_p = \frac{(0.0066)(10)(5500)(8.58)^2}{(25.8)(3.826)}$$

$$\Delta P_p = 270 \text{ psi.}$$

6) CAIDA DE PRESION DENTRO DE LOS LASTRABARRENA (Drill Collars).-

Se calcula la velocidad media dentro de los lastra barrena, obteniéndose - como resultado:

$$v = \frac{q}{2.45d^2}$$

$$v = \frac{308}{(2.45)(2.813)^2}$$

$$v = 15.9 \text{ ft/seg.}$$

El valor de la velocidad crítica para ésta sección, es de:

$$v_c = 4.6 \text{ ft/seg.}$$

Por lo tanto, el flujo que se tiene es turbulento, ya que:

$$15.9 \text{ ft/seg.} > 4.6 \text{ ft/seg.}$$

Ahora, se calcula el No. de R_e :

$$R_e = \frac{2970DV\rho}{\mu_p}$$

$$R_e = \frac{(2970)(2.813)(15.9)(10)}{(30)}$$

$$R_e = 44300$$

También se puede calcular el No. de R_e anterior, de la siguiente manera:

$$R_e = R_{e_{\text{Tubería}}} \times \frac{\text{Diám. interior de la tubería.}}{\text{Diám. interior de los lastra b.}}$$

$$R_e = 32500 \times \frac{3.826}{2.813}$$

$$R_e = 44200$$

Como se observa, los dos valores son casi iguales.

De la gráfica (Fig. 1), curva No. II, se obtiene el factor de fricción f :

$$f = 0.0062$$

La caída de presión dentro de los lastra barrena, es de:

$$\Delta P_c = \frac{f P L v^2}{25.8 d}$$

$$\Delta P_c = \frac{(0.0062)(10)(500)(15.9)^2}{(25.8)(2.813)}$$

$$\Delta P_c = 108 \text{ psi.}$$

7) CAIDA DE PRESION A TRAVES DE LA BARRENA.- Esta es una barrena tipo Jet, de tres conos y con un coeficiente de boquilla de 0.95. Empleando la ecuación corregida para Boquillas Múltiples, se encuentra el diáme--

tro equivalente para una sola boquilla:

$$d_e = \sqrt{nd^2}$$

$$d_e = \sqrt{(3)\left(-\frac{13}{32}\right)^2}$$

$$d_e = 0.704 \text{ in.}$$

De donde: d_e = Diámetro equivalente para una sola boquilla.

Este valor de d_e se emplea en la siguiente ecuación, para encontrar la caída de presión en la barrena:

$$\Delta P_b = \frac{q^2 \rho_m}{7430 c^2 d^4}$$

De donde: q = Gasto.

ρ_m = Densidad del lodo.

c = Coeficiente de boquilla.

7430 = Factor de conversión.

Sustituyendo valores y resolviendo, se tiene:

$$\Delta P_b = \frac{(308)^2 (10)}{(7430) (0.95)^2 (0.704)^4}$$

$$\Delta P_b = 580 \text{ psi.}$$

NOTA.- Se puede evitar el calcular el diámetro equivalente, ya que las boquillas son del mismo tamaño, entonces, solo aplicamos la ecuación para la caída de presión:

$$\Delta P_b = \frac{q^2 \rho_m}{740 c^2 d^4}$$

$$\Delta P_b = \frac{(308)^2 (10)}{(7430) (0.95)^2 \left(\frac{13}{32}\right)^4}$$

Por lo tanto:

$$\Delta P_b = 580 \text{ psi.}$$

8) PERDIDA DE PRESION EN EL ESPACIO ANULAR (Alrededor de los las tra barrena).- La velocidad crítica para ésta sección es:

$$v_c = \frac{1.08 \mu_p + 1.08 \sqrt{\mu_p^2 + 9.3 \rho_m d^2 \gamma_b}}{\rho_m d}$$

Sustituyendo valores y resolviendo, se tiene:

$$v_c = \frac{(1.08)(30) + 1.08 \sqrt{(30)^2 + (9.3)(10)(1.125)^2(10)}}{(10)(1.125)}$$

$$v_c = 7.25 \text{ ft/seg.}$$

El diámetro hidráulico equivalente del espacio anular, se calcula por medio de la siguiente fórmula:

$$d_a = d_2 - d_1$$

De donde:

$$d_a = (7.875 - 6.750) = 1.125 \text{ in.}$$

La velocidad media en ésta sección es de:

$$v = \frac{q}{2.45(d_2^2 - d_1^2)}$$

$$v = \frac{308}{2.45 [(7.875)^2 - (6.750)^2]}$$

$$v = \frac{308}{2.45(62 - 45.55)} = 7.64 \text{ ft/seg.}$$

Por lo tanto, el flujo sigue siendo turbulento.

Se calcula ahora, el No. de R_e para ésta sección:

$$R_e = \frac{2970 D v \rho}{\mu_p}$$

$$R_e = \frac{(2970)(1.125)(7.6)(10)}{(30)}$$

$$R_e = 8450$$

El factor de fricción f , se calcula de la gráfica (Fig. 1), curva No. IV, obteniéndose el valor de:

$$f = 0.0098$$

Por lo tanto, la caída de presión será:

$$\Delta P_{ac} = \frac{f \rho_m L v^2}{25.8 d}$$

$$\Delta P_{ac} = \frac{(0.0098)(10)(500)(7.6)^2}{(25.8)(1.125)}$$

$$\Delta P_{ac} = 97 \text{ psi.}$$

9) PERDIDA DE PRESION EN EL ESPACIO ANULAR, ALREDEDOR DE LA TUBERIA DE PERFORACION.- Primero, se calcula la velocidad crítica para ésta -- sección:

$$v_c = \frac{1.08 \mu_p + 1.08 \sqrt{\mu_p^2 + 9.3 \rho_d^2 \gamma_b}}{m^d}$$

$$v_c = \frac{(1.08)(30) + 1.08 \sqrt{(30)^2 + (9.3)(10)(3.375)^2(10)}}{(10)(3.375)}$$

$$v_c = 4.38 \text{ ft/seg.}$$

En ésta sección, el flujo que se tiene es laminar, ya que la velocidad crítica es mayor que la velocidad considerada (3 ft/seg.), para - calcular el gasto de circulación.

De acuerdo a lo anterior, la ecuación apropiada para calcular - la caída de presión, para éste tipo de flujo, será:

$$\Delta P = \frac{LY_b}{300d} + \frac{\mu_p vL}{1500d^2}$$

De donde: L = Longitud de la tubería.

Y_b = Punto de cedencia.

μ_p = Viscosidad plástica.

d = Diámetro del agujero.

v = Velocidad del fluido.

Sustituyendo valores y resolviendo, se tiene:

$$\Delta P = \frac{(5500)(10)}{(300)(3.375)} + \frac{(30)(3)(5500)}{(1500)(3.375)^2}$$

$$\Delta P = 83 \text{ psi.}$$

Para distinguir éste valor y ponerlo en forma semejante a los - anteriormente obtenidos, lo señalaremos con un subíndice:

$$\Delta P_{ap} = 83 \text{ psi.}$$

OBSERVACIONES.- La pérdida de presión en el espacio anular, así como la caída de presión interna, está compuesta de dos partes:

- a) La pérdida de presión alrededor de la tubería de perforación.
- b) La pérdida alrededor de las juntas de la tubería.

En la mayoría de los casos, ésta corrección es despreciable y la sección de tubería en el espacio anular, puede ser tratada, como si el diámetro fuera uniforme.

Sin embargo, en agujeros de diámetros reducidos, las restricciones alrededor de las juntas, pueden ser apreciables y requieren consideraciones especiales.

Entonces, los cálculos se efectúan por separado, considerando para cada 1000 ft. de espacio anular:

950 ft. de tubería y 50 ft. de juntas.

En el caso que nos ocupa, no se aplica éste cálculo, pero debe tenerse en cuenta para efecto de mayor exactitud.

Para terminar con el cálculo, de la caída de presión total en el sistema, solo resta sustituir en la ecuación original, los valores de cada uno de los términos del segundo miembro.

$$\Delta P_t = \Delta P_s + \Delta P_p + \Delta P_l + \Delta P_b + \Delta P_{a1} + \Delta P_{ap}$$

$$\Delta P_t = 27 + 270 + 108 + 580 + 97 + 83$$

$$\Delta P_t = 1170 \text{ psi.}$$

El caballaje desarrollado por la bomba, se calcula por medio de la siguiente fórmula:

$$\text{H.P.} = \frac{qP}{1714}$$

De donde: q = Gasto.

P = Caída de presión total.

1714 = Factor de conversión.

Sustituyendo valores, se tiene:

$$\text{H.P.} = \frac{(308)(1170)}{1714}$$

$$\text{H.P.} = 210$$

La potencia que recibirá la bomba de la máquina (para 90% de eficiencia volumétrica de la bomba y 85% de eficiencia mecánica), es:

$$\text{H.P.} = \frac{210}{(0.90)(0.85)}$$

$$\text{H.P.} = 275$$

Como regla general, no serán necesario todos éstos cálculos, ya que la "HUGHES TOOL COMPANY", casa fabricante de barrenas, proporciona ta--

blas y gráficas, que permiten hacer éstos cálculos en forma más rápida.

En las tablas y gráficas citadas, se toma en cuenta el factor - de fricción f , para un lodo de 9.5 lbs/gal. de densidad y viscosidad de 3 cp., debiéndose hacer las correcciones pertinentes.

El factor de fricción f , se estima en función del gasto y del - diámetro de la tubería.

Las caídas de presión obtenidas de las gráficas, se deben corre gir para densidades diferentes a 9.5 lbs/gal., por medio de la fórmula:

$$\Delta P = P_g \frac{d}{9.5}$$

De donde: ΔP = Valor corregido para una densidad d .

ΔP_g = Valor obtenido de la gráfica.

d = Densidad del lodo en cuestión.

Aunque la viscosidad tiene un efecto relativamente pequeño, en - la caída de presión en el flujo turbulento, no es completamente satisfacto rio aceptar, que el valor de 3 cp., sea un promedio para todos los casos; - otra objeción es, que las gráficas para flujo en el espacio anular, estan- basadas en condiciones de flujo turbulento, aún cuando el flujo en ésta -- sección, es casi siempre laminar.

El error cometido al aceptar éstas condiciones, es generalmente- despreciable, puesto que la pérdida de presión en el espacio anular, es -

una pequeña parte de la pérdida de presión total.

Sin embargo, cuando en algunos casos, se requiere corregir los valores obtenidos de las gráficas, para otros valores de viscosidad, se aplicará la ecuación:

$$\Delta P = \Delta P_u \left(\frac{\mu_t}{3} \right)^{0.14}$$

De donde: ΔP = Caída de presión corregida.

ΔP_u = Caída de presión, calculada con gráficas.

μ_t = Viscosidad turbulenta del lodo en uso, en cp.

C A P I T U L O VII

FACTORES QUE INTERVIENEN PARA DETERMINAR LOS COSTOS DE LOS FLUIDOS DE PERFORACION.

Como en toda industria, en la petrolera, la tendencia actual es la de minimizar los costos en los diferentes aspectos de la misma, lo cual viene a ser un renglón de suma importancia, para la marcha de ésta gran industria.

En la perforación de pozos petroleros, la búsqueda de reservas de hidrocarburos, se concentra en la actualidad a horizontes productores más profundos, siendo el caso más reciente, el campo localizado en REFORMA CHIAPAS, en donde la perforación que se está llevando a cabo es a gran profundidad, lo que hace más costosa la perforación por la serie de imponderables que se presentan, variando dichos costos, con las regiones en las cuales se está llevando a cabo la perforación, ya que cada área presenta diferentes problemas.

Como el renglón que más interesa en éste trabajo, es lo referente a los fluidos de perforación, los factores que influyen en el costo por metro perforado, se puede sintetizar en los siguientes puntos:

- 1.- Tipo de pozo (Exploración ó desarrollo).
- 2.- Profundidad a la que se va a perforar.
- 3.- Naturaleza de las formaciones perforadas ó a perforar.
- 4.- Problemas específicos (Descontroles y pérdidas de circula---

ción).

Para comprender mejor ésto, se hará un análisis breve de los -- factores antes citados.

1) TIPO DE POZO.- El costo de un pozo de exploración, lógicamente será siempre mayor, que uno de desarrollo, ya que como su nombre lo indica, se perfora en áreas desconocidas y los programas se elaboran por correlación de datos obtenidos de pozos de áreas cercanas ó parecidas, lo - que implica que el control del fluído de perforación será más variado.

En un pozo de desarrollo, por el contrario, las formaciones a - perforar son conocidas (aunque no exento de problemas), ya que en éste tipo de pozos, se conoce el área y los programas no son tan tentativos como en el caso de los pozos de exploración, por lo tanto, el control y mantenimiento de los fluídos de perforación es más económico, dependiendo el - costo por metro y total, únicamente de factores fortuitos, como problemas presentados por desperfectos en el equipo ó por fallas humanas.

2) PROFUNDIDAD.- Este punto es también de vital importancia en - los costos de los fluídos de perforación, dado que, entre más profundo -- sea un pozo a perforar, el costo será más elevado, claro está, que como - se dijo en el punto anterior, variará si éste es de exploración ó de desarrollo.

En la actualidad, PETROLEOS MEXICANOS está enfocando sus proyectos de perforación de pozos petroleros, a perforaciones de mayor profundi

dad. Los pozos de gran profundidad implican aún en áreas conocidas, muchos problemas, los cuales se van resolviendo sobre la marcha. Como se observará, todo ésto influye en los costos de los lodos, ya que el volumen-que se empleará será muy grande.

Ejemplos:

En formaciones arenosas, la arena actúa como abrasivo, por lo -consiguiente, la vida del equipo disminuye considerablemente, aún empleando los desarenadores (haciendo la aclaración pertinente, que éste factor-no afecta al costo del lodo, pero si en el costo general).

En formaciones de lutitas que son las más comunes y conocidas,-pueden ocasionar diversos problemas, como por ejemplo, pegar la tubería -si es del tipo hidratable, ya que al absorber agua del lodo, disminuye el diámetro del agujero al sufrir un hinchamiento éste tipo de formación, lo cual induce a aumentar la densidad del lodo, por lo tanto, el costo del -mismo también aumenta. Si ésto sucede en áreas conocidas, en áreas de exploración que se consideran desconocidas, con más razón se eleva el costo del fluido, por el sin número de problemas que se presentan.

En formaciones rocosas, el problema más común es la pérdida del fluido, ya que las formaciones de éste tipo son por lo general cavernosas ó fracturadas, incluso es factible y común provocar una fractura inducida, es decir, al no emplear un lodo con el peso adecuado, por el peso del mismo, la formación se fractura, al ser demasiada la presión que provoca el-

peso del lodo, que éste se pierde.

Como puede observarse, los problemas que se presentan en la perforación son muchos y variados, tanto en las áreas de exploración como en las de desarrollo, claro que en los pozos de exploración el costo será mayor que en los de desarrollo, por regla general.

4) PROBLEMAS ESPECIFICOS (DESCONTROLES Y PERDIDAS DE CIRCULACION).- Para éste caso solo mencionaremos dos factores que son: descontroles y pérdidas de circulación.

a) Descontroles.- Un descontrol puede ser ocasionado por la presencia de gas de lutita ó bien por el gas de un yacimiento. En los pozos del Distrito de Ciudad Pemex, Tab., son por lo general muy gasíferos, por lo que el problema es muy común. El gas disminuye la densidad del fluido, por lo que es necesario agregar el material adecuado para mantener el peso del lodo que se ha deseado, incluso mayor al que se estaba empleando, para que la presión del fluido sea más elevada que la de la formación y no haya por lo consiguiente, una gasificación de mayores proporciones. Si la presión de la formación es de tal magnitud, puede ocasionar lo que se conoce con el nombre de Reventón, siendo de suma peligrosidad, porque puede provocar un accidente.

Otro descontrol que puede presentarse es la presencia de sal. - Al atravesar un domo salino, la presencia de sal implica una alteración en las propiedades del lodo, ya que la sal de la formación se va agregan-

do al lodo, cambiando sus características originales, por lo que se hace necesario y a la vez resulta económico, cambiar la base del lodo al tipo- del lodo salado, para evitar que la sal de la formación se agregue al --- fluído. Se hace mención de éste caso, únicamente como referencia, pues so lo interesa en éste trabajo, los fluídos del tipo arcilla -agua.

A grandes rasgos y de manera breve, se observa que los costos - de los fluídos de perforación, tiene demasiadas variables que lo pueden - hacer más barato ó más costoso. El costo del fluído debe darse por metro- perforado, para que al final de la perforación, de acuerdo al número de - metros perforados, se obtenga el costo total del fluído.

A continuación, se tienen unas hojas de informes anuales de po- zos terminados tanto de exploración como de desarrollo, en cuanto al con- sumo de materiales químicos empleados durante las perforaciones, corres- pondientes al Distrito de Ciudad Pemex, Tab., en los años de 1969 y 1971. Como puede observarse, los gastos que se tienen por concepto del consumo- de materiales químicos, es bastante grande, pero redituables a la larga,- por éso es necesario minimizar los costos de los fluídos de perforación,- para que a la empresa PETROLEOS MEXICANOS le resulte más económico.

Para ejemplificar lo anterior, a continuación, se tienen datos- reales de los costos de los lodos;

INFORME ANUAL DE POZOS TERMINADOS														ZONA SUR	
														AÑO 1969	
														COMPANIA PEMEX	
														HOJA No. 1 DE 1	
														</	

INFORME ANUAL DE POZOS TERMINADOS

CONSUMO DE MATERIALES QUIMICOS

ZONA	SUR
AÑO	1969
COMPañIA	PEMEX
HOJA No. 1	DE 2

M A T E R I A L	POZOS DE DESARROLLO													HOJA No.	1	DE	2
	BITZAL No. 6	BITZAL No. 10	BITZAL No. 11	BITZAL No. 12	CANTEMOC No. 3	HORMIGUERO No. 51	HORMIGUERO No. 57	HORMIGUERO No. 58	HORMIGUERO No. 59	HORMIGUERO No. 60	HORMIGUERO No. 60-A	HORMIGUERO No. 61	HORMIGUERO No. 70	HORMIGUERO No. 71			
1.-Baritas	475.000	152.500	42.500	100.000	805.500	785.000	330.000	962.500	1.300.000	35.000	1.142.000	1.011.250	806.000	500.000			
2.-Bentonitas	13.500	32.800	15.000	17.500	26.700	28.000	22.800	17.300	55.000	6.000	29.000	21.000	20.000	21.500			
3.-Atapulguitas																	
4.-Fosfatos	1.500	0.400	0.800	0.800	0.500	0.800	1.500	0.850	1.000		3.000	0.400	1.500	1.100			
5.-Taninos																	
6.-Taninos Modificados	3.500	1.750	1.400	0.875	0.500	0.400	0.825	2.075			2.600	1.750	0.725	0.850			
7.-Lignitos Causticos																	
8.-Cromo Lignitos	0.750			0.875	3.500	3.250	2.000	5.250	8.500		14.150	3.100	0.675	0.550			
9.-Ligno Sulfonatos	6.500			0.875	6.200	6.125	0.700	8.325	16.375		14.500	8.750	6.250	2.000			
10.-Poliacrilonitrilos														3.500			
11.-Jabones y Detergentes	0.125				0.175		0.250	0.350	0.375			0.125	0.200	0.100			
12.-Surfactantes																	
13.-Almidones																	
14.-Carboxi-Metil-Celulosas								0.500									
15.-Emulsiones Inversas (M ³)																	
16.-Aceites (M ³)	14.000		2.000	8.000	16.200	1.000	6.000	9.000	14.000		16.000	30.000	25.000	7.000			
17.-Lubricantes P. E.																	
18.-Obturantes	1.700				1.500				1.750	1.400							
19.-Antiespumantes																	
20.-Inhibidores de Corrosión																	
21.-Precipitantes del Ion Ca	0.850	0.250	0.150		0.500	0.150		1.250		0.850	0.325	3.350					
22.-Precipitantes del Ion SO ₄																	
23.-Hidróxido de Sodio	2.250	0.700	0.550	1.000	2.700	1.150	0.850	5.300	6.250		5.350	3.350	1.000	1.250			
24.-Sinérgicos Alcalinos																	
25.-Cloruro de Sodio																	
26.-Sulfato de Calcio																	
27.-Hidróxido de Calcio																	
28.-Óxido de Calcio																	

CLAVE: (1) REVENTON. (2) DERRUMBE. (3) PERDIDAS CIRCULACION
(4) PESCAS. (5) MUESTREO CONTINUO. (6) TUBERIA PEGADA.

CONSUMO DE MATERIALES QUIMICOS

ZONA	SUR		
AÑO	1969		
COMPañIA	PEMEX		
HOJA No.	2	DE	2

[illegible]

CLAVE: (1) REVENTON. (2) DERRUMBE. (3) PERDIDAS CIRCULACION
(4) PESCAS. (5) MUESTREO CONTINUO. (6) TUBERIA PEGADA.

INFORME ANUAL DE POZOS TERMINADOS

CONSUMO DE MATERIALES QUIMICOS

ZONA	SUR
AÑO	1971
COMPañIA	PEMEX
HOJA No. 1	DE 1

[illegible]

CLAVE: (1) REVENTON. (2) DERRUMBE. (3) PERDIDAS CIRCULACION
(4) PESCAS. (5) MUESTREO CONTINUO. (6) TUBERIA PEGADA.

CONSUMO DE MATERIALES QUIMICOS

ZONA	SUR
AÑO	1971
COMPañIA	PEMEX
HOJA No. 1	DE 1

M A T E R I A L	POZOS DE EXPLORACION													HOJA No. 1	DE 1
	HORMIGUERO No. 78	COBO No. 101	HORMIGUERO No. 79	TRIUNFO No. 3	CHIFLON No. 1	ESPADANA No. 1	ESTRIBAL No. 1	MORALES No. 5	TEPETITAN No. 2	OTATAL No. 1	LAGUNA ALEGRE No. 2	NARVAEZ No. 3	CAOBA No. 1	CANAVERAL No. 1	NARVAEZ No. 4
1.-Baritas	341.500	525.000	\$1,892.500	\$1,161.250	775.750	1,006.000	\$1,311.250	1,324.000	1,010.000	570.000	950.000	870.000	825.000	710.000	1,575.000
2.-Bentonitas	16.250	11.250	55.300	39.500	75.450	55.450	65.950	57.650	41.500	28.750	20.500	42.750	17.500	39.750	43.500
3.-Atapulguitas															
4.-Fosfatos	0.750	0.750	0.750	0.750	2.800	1.000	0.750	0.750	0.750	1.250	1.000	0.750	0.750	0.900	0.500
5.-Taninos															
6.-Taninos Modificados	2.700	2.825	4.650	3.750	8.750	2.850	6.125	6.000	2.500	3.600	2.500	3.675	2.500	2.500	3.750
7.-Lignitos Causticos															
8.-Cromo Lignitos	6.575	0.800	13.750	16.400	6.025	4.500	21.875	17.300	13.250	6.300	10.750	8.825	8.750	4.750	12.925
9.-Ligno Sulfonatos	7.500	5.500	11.375	20.975	3.825	5.625	25.375	23.900	13.275	6.125	11.500	7.000	10.250	5.500	14.375
10.-Poliacrilonitrilos															
11.-Jabones y Detergentes	0.425	0.425	2.250		0.750		1.000	3.750	1.625	0.525	0.400	0.600	1.250	0.750	1.525
12.-Surfactantes															
13.-Almidones															
14.-Carboxi-Metil-Celulosas				1.250		0.250	0.700	1.925							
15.-Emulsiones Inversas DRILEX (M ³)					51.600	24.000									
16.-Aceites	13.000	10.000	49.500	47.000	314.000	220.200	35.000	53.500	43.000	23.500	15.000	13.500	43.300	50.000	32.000
17.-Lubricantes P. E.															
18.-Obturantes	1.250	6.250	30.905	14.700	62.750	22.500	8.275	9.875			0.250	27.275		6.750	51.625
19.-Antiespumantes															
20.-Inhibidores de Corrosión															
21.-Precipitantes del Ion Ca	1.000	0.900	3.000	6.300	4.150	2.750	6.650	6.500	5.225	1.800	0.550	2.600	1.700		2.250
22.-Precipitantes del Ion SO4															
23.-Hidróxido de Sodio	3.400	2.850	7.800	7.950	4.650	2.250	6.350	12.750	6.000	3.750	5.050	5.400	5.400	3.250	7.150
24.-Sinérgicos Alcalinos															
25.-Cloruro de Sodio					26.800	8.000									
26.-Sulfato de Calcio															
27.-Hidróxido de Calcio															
28.-Óxido de Calcio															
					52.500	21.200									
					37.500	31.120									

CLAVE: (1) REVENTON. (2) DERRUMBE. (3) PERDIDAS CIRCULACION
(4) PESCAS. (5) MUESTREO CONTINUO. (6) TUBERIA PEGADA.

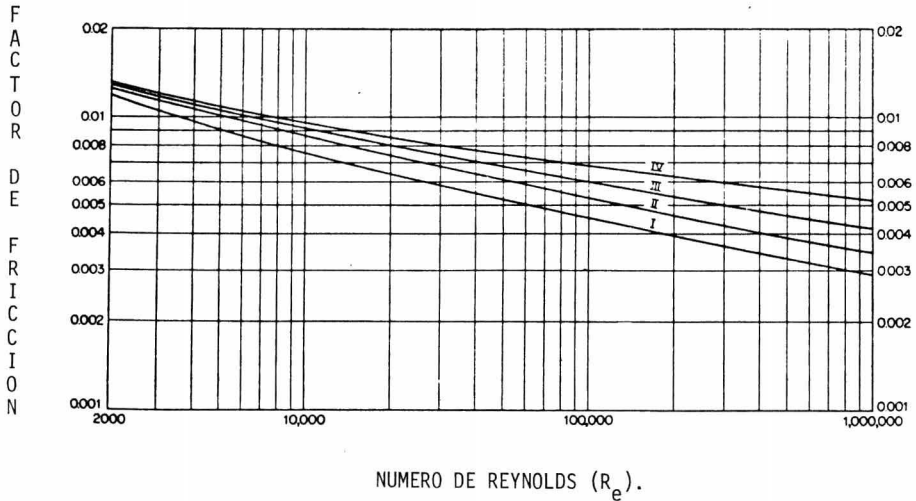
CONSUMO DE MATERIALES QUIMICOS

ZONA	SUR		
AÑO	1971		
COMPañIA	PEMEX		
HOJA No.	2	DE	2

[illegible]

CLAVE: (1) REVENTON. (2) DERRUMBE. (3) PERDIDAS CIRCULACION
(4) PESCAS. (5) MUESTREO CONTINUO. (6) TUBERIA PEGADA.

PERFORACION ROTARIA HIDRAULICA



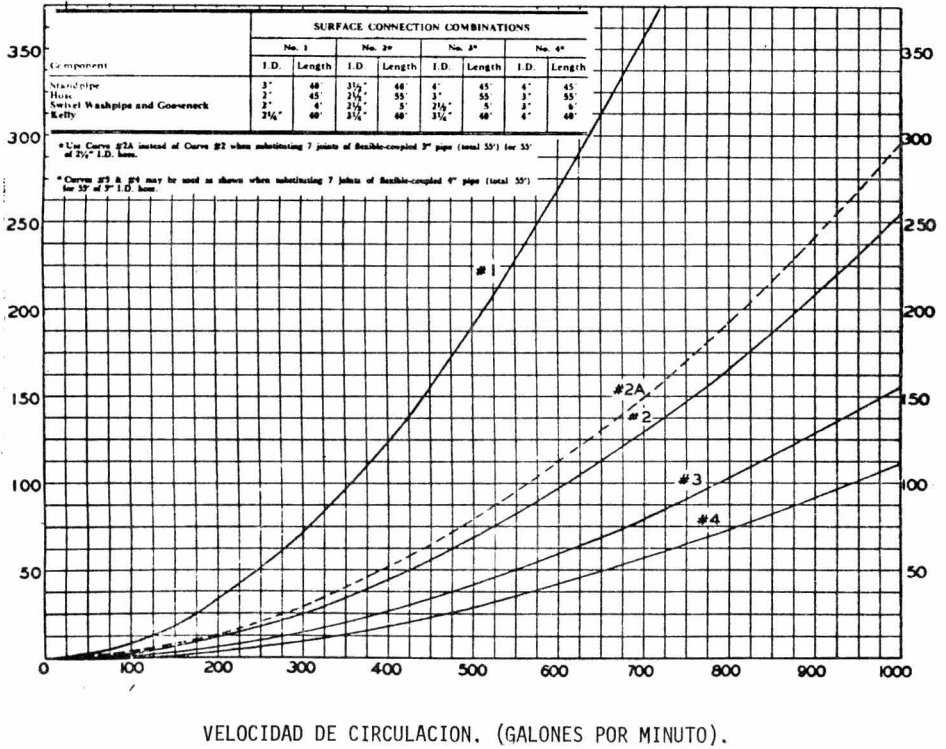
NUMERO DE REYNOLDS (R_e).

- I.- Para valores muy bajos en tubería de cobre o vidrio. (Walker, Lewis and McAdams).
- II.- Para una buena limpieza interna tubular en flujo rápido. (Walker, Lewis and -- McAdams).
- III.- Para tubería de perforación en agujero lleno ó en el espacio anular. (Piggott's-Data).
- IV.- Para agujero abierto. (Piggott's Data).

Factor de fricción vs. Número de Reynolds, para calcular el flujo del lodo. Según Stanton y Ormsby. Cortesía de la API.

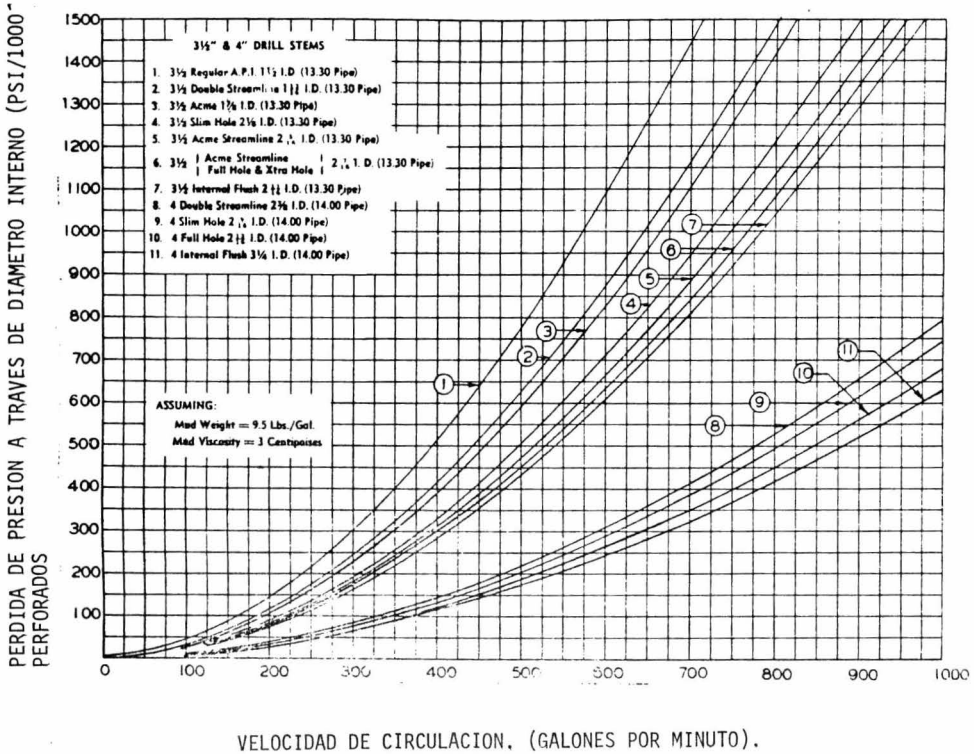
CALCULO DE LA CAIDA DE PRESION PARA UN SISTEMA TÍPICO

PERDIDA DE PRESION A TRAVES DE CONEXIONES SUPERFICIALES (PSI).



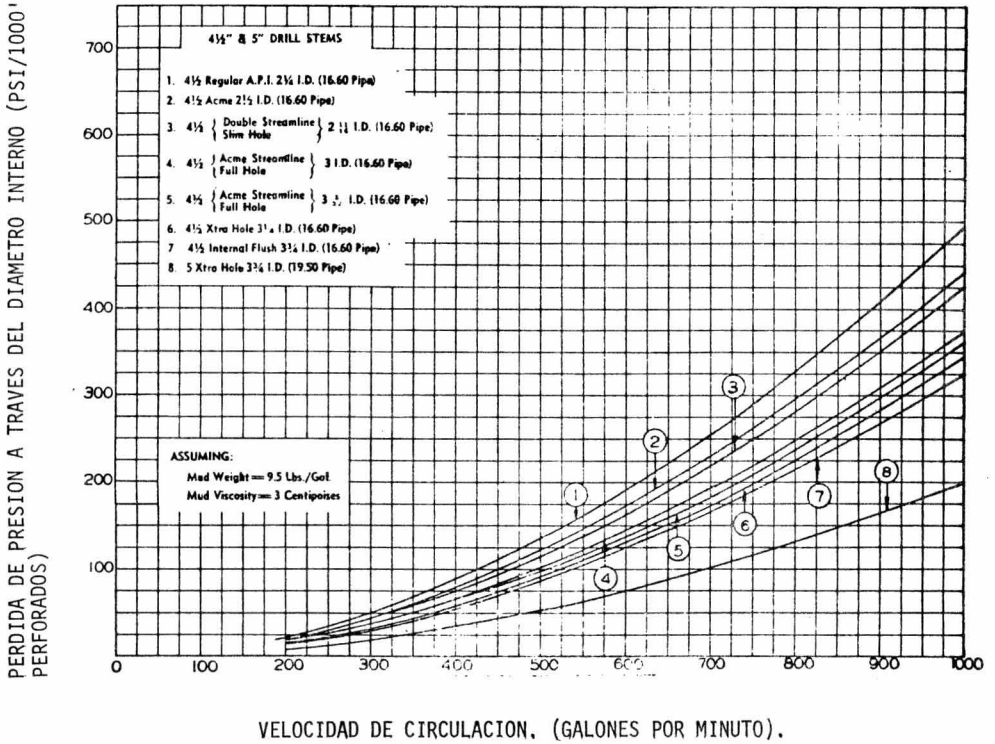
Pérdidas de presión en conexiones de superficie. Cortesía de la Hughes Tool Company.

PERFORACION ROTARIA HIDRAULICA



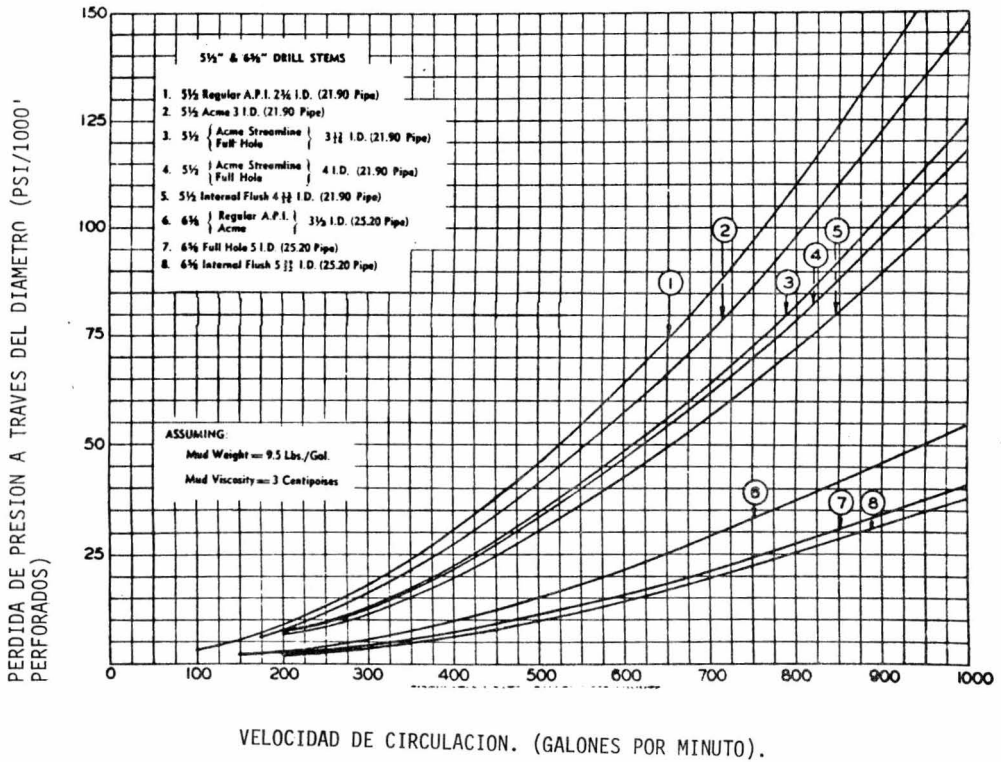
Caída de presión en el interior de la tubería de perforación vs. Velocidad de circulación. Cortesía de la Hughes Tool Company.

CALCULO DE LA CAIDA DE PRESION PARA UN SISTEMA TIPICO



Caída de presión dentro de la tubería de perforación vs. Velocidad de circulación.
Cortesía de la Hughes Tool Company.

PERFORACION ROTARIA HIDRAULICA

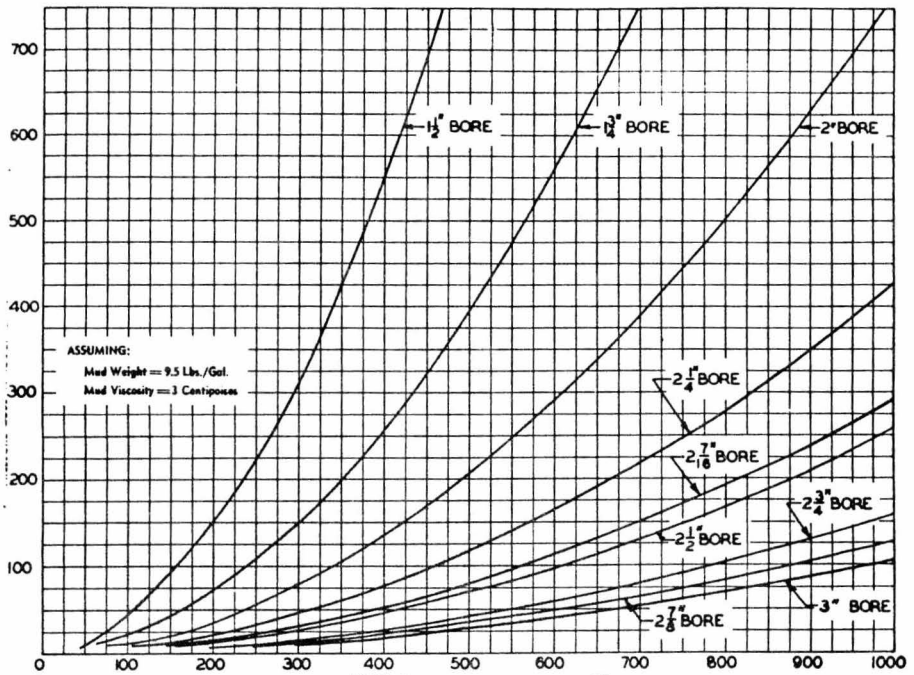


Caída de presión dentro de la tubería de perforación vs. Velocidad de circulación.
Cortesía de la Hughes Tool Company.

APENDICE-VI

CALCULO DE LA CAIDA DE PRESION PARA UN SISTEMA TIPICO

PERDIDA DE PRESION A TRAVES DE LOS LASTRABARRENA (PSI/100').



VELOCIDAD DE CIRCULACION, (GALONES POR MINUTO).

Caída de presión a través del barrenado de los Lastrabarrena vs. Velocidad de circulación. Cortesía de la Hughes Tool Company.

CONCLUSIONES

- CAPITULO I) Se describen los diferentes tipos de arcillas, sus estructuras simplificadas, su reacción con el agua su intercambio iónico y lo que es en si el sistema arcilla - agua.
- CAPITULO II) Se explican las funciones más importantes de los fluídos-de perforación.
- CAPITULO III) Trata sobre las características ó propiedades de los fluídos de perforación y el equipo que se emplea en el campo-para llevar a cabo su determinación.
- CAPITULO IV) Se explica el tratamiento que se le da a los fluídos de -perforación, para obtener un mejor resultado y reducir al mínimo los problemas que puedan presentarse.
- CAPITULO V) Se describen las características de flujo de los fluídos-de perforación, como son la viscosidad plástica, el punto de cedencia y la gelatinosidad, características importantes por la forma como influyen en el lodo y como controlarlos.
- CAPITULO VI) Se da un ejemplo del cálculo analítico que se sigue para-obtener las diferentes caídas de presiones de todo el sistema.

(CAPITULO VII) Se explican los factores que influyen ó intervienen en - los costos de los fluídos de perforación exclusivamente- pues no debe olvidarse que el factor dinero es importante en cualquier empresa, por lo que es necesario en este caso, minimizar los costos de los lodos.

BIBLIOGRAFIA

1) LESTER CHARLES UREN

PETROLEUM PRODUCTION ENGINEERING

CUARTA EDICION

McGRAW HILL BOOK COMPANY INC.

NUEVA YORK

CIA EDITORIAL CONTINENTAL, S.A.

1964.

2) WALTER F. ROGERS

COMPOSITION AND PROPERTIES OF OIL WELL DRILLINGS FLUIDS

TERCERA EDICION

GULF PUBLISHING COMPANY

HOUSTON, TEXAS

1963.

3) MAGNET COVE BARIUM CORPORATION (MAGCOBAR)

MUD ENGINEERING

CUARTA EDICION

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE

HOUSTON, TEXAS

4) BRANTLY J.E.

ROTARY DRILLING HANDBOOK

SEXTA EDICION
PALMER PUBLICATIONS
HOUSTON, TEXAS
1961.

- 5) JOHN H. PERRY
CHEMICAL ENGINEERS HANDBOOK
CUARTA EDICION
McGRAW HILL BOOK COMPANY
KOGAKUSHA COMPANY, LTD
TOKIO
1963.

- 6) GLASTONE SAMUEL
TRATADO DE FISICO-QUIMICA
SEGUNDA EDICION
EDITORIAL AGUILAR
MADRID, ESPAÑA
1966.

- 7) Mc ADAMS, W. HENRY AND WALKER
PRINCIPLES OF CHEMICAL ENGINEERING
TERCERA EDICION
McGRAW HILL BOOOK COMPANY

NEW YORK

CIA. EDITORIAL CONTINENTAL, S.A.

1967.

8) GATLIN CARL

PETROLEUM ENGINEERING

DRILLING AND WELL COMPLETIONS

PRENTICE-HALL, INC.

ENGLEWOOD CLIFFS, N.J.

1960.