

01124  
11



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE INGENIERÍA

BASES TEÓRICO PRÁCTICAS PARA LA APLICACIÓN  
DE SISTEMAS HIDRÁULICOS UTILIZADOS EN LA  
PERFORACIÓN DE POZOS

TESIS PROFESIONAL  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO PETROLERO  
PRESENTA  
FLORES OROZCO OCTAVIO



DIRECTOR: QUIM. ROSA DE JESÚS HERNÁNDEZ ÁLVAREZ

MEXICO, D. F., CIUDAD UNIVERSITARIA, 2003

a



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.



ESTADOS UNIDOS MEXICANOS  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

FACULTAD DE INGENIERÍA  
DIRECCIÓN  
60-1-711

**SR. OCTAVIO FLORES OROZCO**  
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso la profesora Quím. Rosa de Jesús Hernández Álvarez y que aprobó esta Dirección para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de Ingeniero de Petrolero:

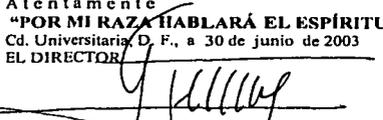
**BASES TEÓRICO PRÁCTICAS PARA LA APLICACIÓN DE SISTEMAS HIDRÁULICOS UTILIZADOS EN LA PERFORACIÓN DE POZOS**

- I RESUMEN
- II INTRODUCCIÓN
- III PERSPECTIVA HISTÓRICA DE LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN
- III PRÁCTICAS EFECTUADAS EN EL LABORATORIO DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN
- IV ARCILLAS UTILIZADAS EN LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN
- V CONTAMINANTES Y CONDICIONES ESPECIALES DE PERFORACIÓN QUE AFECTAN LAS CARACTERÍSTICAS DE UN FLUIDO DE PERFORACIÓN
- VI CÁLCULOS BÁSICOS PARA EL MANEJO DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN
- VII CONCLUSIONES
- BIBLIOGRAFÍA

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo, le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
Cd. Universitaria, D. F., a 30 de junio de 2003  
EL DIRECTOR

  
M. en C. GERARDO FERRANDO BRAVO

GFR\*JAGC\*rig

b

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA**

**“BASES TEÓRICO PRÁCTICAS PARA LA APLICACIÓN DE SISTEMAS  
HIDRÁULICOS UTILIZADOS EN LA PERFORACIÓN DE POZOS”**

Tesis presentada por: Octavio Flores Orozco.

Número de Cuenta: 09655432-2

Dirigida por: Quím. Rosa de Jesús Hernández Álvarez.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**JURADO DEL EXAMEN PROFESIONAL**

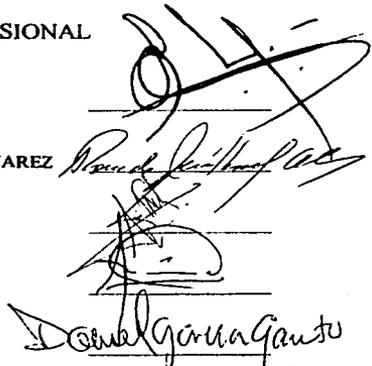
**PRESIDENTE:** M. en I. JOSÉ ÁNGEL GÓMEZ CABRERA.

**VOCAL:** Quím. ROSA DE JESÚS HERNÁNDEZ ÁLVAREZ

**SECRETARIO:** M. en I. JOSÉ MARTÍNEZ PÉREZ

**1ER. SUPLENTE:** M. en I. NÉSTOR MARTÍNEZ ROMERO

**2DO. SUPLENTE:** Dr. DANIEL GARCÍA GAVITO



Handwritten signatures of the jury members, including José Ángel Gómez Cabrera, Rosa de Jesús Hernández Álvarez, José Martínez Pérez, Néstor Martínez Romero, and Daniel García Gavito.

---

Dedico esta tesis a mis padres Ramón Flores Rodríguez y Ma. de los Angeles Orozco Díaz, por todo el amor y cariño que me han brindado así como por todo el apoyo que me han dado para realizar mis estudios.

A mi hermano Oscar Ramón, quien siempre será un gran apoyo y un ejemplo a seguir.

A mi abuelita Noemí Rodríguez Ocampo, por todo el amor y cariño que siempre me ha dado.

A la memoria de mis abuelos:

- Ma. Félix Díaz Arellano.
- Tomás Orozco Ramírez.
- Ramón Flores González.

Quienes desgraciadamente no pudieron estar conmigo en este momento.

A mis tíos: Víctor Manuel, Fernando, Marco Antonio, Miguel Angel y José Israel Flores Rodríguez, por todo su apoyo.

A mis tías Ma. del Socorro Lartundo Ocampo y a mi madrina Ma. Teresa Lartundo Ocampo, por todo su cariño.

A mis primos Reyna Ma. Teresa Treviño Lartundo, Jessica Noemí Flores A. y Víctor Hugo Flores Smith, por todas las metas que nos prometimos alcanzar.

---

d

---

A la Quím. Rosa de Jesús Hernández Álvarez por dirigir este trabajo y todo lo que me ha enseñado en el tiempo que he colaborado con ella.

A los profesores: M. en I. José Ángel Gómez Cabrera, M. en I. José Martínez Pérez, M. en I. Néstor Martínez Romero y al Dr. Daniel García Gavito; por sus enseñanzas durante la carrera y por aceptar el formar parte de mi jurado como sinodales.

A Patricia González Iniestra por todo su apoyo y cariño brindado durante mi carrera.

A mis amigos y compañeros de carrera: Juan Luis Brito Jiménez, José Daniel Dillanes Inzunza, Jorge García B., Antelmo García García, Pablo González Chávez, Gabriel González Sánchez, José Luis Hernández, Jesús Jiménez, Luis A. Montes de Oca, Arturo Villegas Rivas, Alma y Ma. del Pilar; así como a todos mis demás compañeros.

A mis amigos de la Universidad Juan Luis Fuentes, Miguel Ángel Barrón, Pedro Campos, Erick Dzul, Marco A. Ixba, Enrique, Adolfo y Carlos por ser mis amigos durante mis estudios.

# **PAGINACIÓN DISCONTINUA**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

*Índice*

**CONTENIDO**

	Pág.
<b>RESUMEN</b>	i
<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>II. PERSPECTIVA HISTÓRICA DE LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN.</b>	5
Práctica No.1.- "Análisis de propiedades y funciones básicas de un fluido de perforación"	14
Práctica No.2.- "Matraz Le'Chateliere"	31
Práctica No.3.- "Balanza de lodos y densímetros"	39
Práctica No.4.- "Ecuación de Balance de Materia"	47
Práctica No.5.- "Viscosidad Marsh"	52
Práctica No.6.- "Viscosímetro rotacional FANN 35"	60
Práctica No.7.- "Uso de la retorta"	77
Práctica No.8.- "Filtro-Prensa API LP-LT"	95
Práctica No.9.- "Uso del Elutiómetro"	105
Práctica No.10.- "Determinación de la acidez o alcalinidad de un fluido de perforación mediante el uso del papel pl1, del potenciómetro y de Métodos Argentométricos".	110
Práctica No.11.- "Control de la salinidad por medio de Métodos volumétricos y Argentométricos".	119
Práctica No.12.- "Ensayo con Azul de Metileno".	124
Práctica No.13.- "Contenido de cloruros".	129
<b>IV. ARCILLAS UTILIZADAS EN LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN.</b>	135
Bentonita	137
Atapulguita	143
Sepiolita	144
Barita	145
<b>V. CONTAMINANTES Y CONDICIONES ESPECIALES DE PERFORACIÓN QUE AFECTAN LAS CARACTERÍSTICAS DE UN FLUIDO DE PERFORACIÓN.</b>	148
Alto contenido de sólidos.	149
Sal.	151
Cemento.	153
Anhidrita.	155
Alta Temperatura.	157
Gas.	158
Arena.	160
Presiones Anormales.	161
<b>VI. CÁLCULOS BÁSICOS PARA EL MANEJO DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN.</b>	163
Cálculos para definir los volúmenes requeridos en el interior de la sarta de perforación y espacios anulares de acuerdo con las profundidades.	164
Cálculos para determinar la velocidad de desplazamiento del fluido en función del tiempo de circulación.	171

Cálculos para determinar la densidad del fluido en función del gradiente de fractura.	176
Ecuación para determinar la cantidad de materia necesaria para efectuar el control de la densidad.	178
Cálculos de porcentajes para determinar la cantidad de fase sólida y líquida presente en los fluidos de perforación.	181
Problemas sobre lodos de perforación.	183
<b>VII. CONCLUSIONES</b>	<b>201</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>203</b>

### ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 Principio de Flotación de Arquímedes	32 y 41
Figura 3.2 Matraz Le'Chatellere	36
Figura 3.3 Balanza para Lodos	43
Figura 3.4 Densímetro	43
Figura 3.5 Análisis de fuerzas de la viscosidad	52
Figura 3.6 Embudo Marsh y jarra aforada	57
Figura 3.7 Funcionamiento del viscosímetro rotacional	60
Figura 3.8 Clasificación de los fluidos por su viscosidad	63
Figura 3.9 Viscosímetro rotacional FANN-35	69
Figura 3.10 Perfiles reológicos más comunes	71
Figura 3.11 Conductividad del calor	84
Figura 3.12 Retorta para cuantificación de fases	92
Figura 3.13 Filtro Prensa LT-LP	102
Figura 3.14 Elutriómetro para la determinación de arena	107
Figura 3.15 Equipos para medir el pH	115
Figura 3.16 Reactivos para medir la salinidad	122
Figura 3.17 Equipo para prueba con azul de metileno	126
Figura 3.18 Laboratorio Portátil	131
Figura 4.1 Primer Mecanismo de Hidratación	140
Figura 4.2 Segundo Mecanismo de Hidratación	141
Figura 6.1 Descarga en bomba tipo Duplex	172
Figura 6.2 Descarga en bomba tipo Triplex	172

### ÍNDICE DE TABLAS

Requerimientos Físicos de la Bentonita API	142
Norma Internacional de Calidad de la Bentonita	143
Especificaciones Físicas y Químicas de la Barita	147

---

## RESUMEN

Este trabajo está compuesto de siete capítulos; en el primero de ellos se explica a grandes rasgos el objetivo de la tesis; en el segundo se da una pequeña reseña acerca de la historia de los fluidos de perforación y su evolución a través de los años debido a las necesidades de la industria petrolera.

En el tercer capítulo se ven las pruebas que se les aplican a los fluidos en el Laboratorio de Fluidos de Perforación a lo largo de un semestre; y en el cual se incluyen el objetivo, el material necesario, los procedimientos de cada prueba, así como se presenta el desarrollo de todos los conceptos teóricos que se ven en cada una de ellas.

El cuarto capítulo da una breve explicación de las características de las arcillas más comúnmente empleadas en la elaboración de los fluidos de perforación; mientras que el quinto capítulo trata acerca de las contaminaciones más frecuentes en los fluidos de perforación, así como sus síntomas y los tratamientos correctivos que deben ser aplicados; el sexto capítulo explica la forma de realizar algunos de los cálculos más comunes que se utilizan en las operaciones de perforación de pozos y por último el séptimo capítulo presenta las conclusiones de este trabajo.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

## INTRODUCCIÓN

Desde los primeros tiempos el hombre ha estado a la búsqueda de fuentes energéticas que le permitan mejorar su calidad de vida; es por esto, que primeramente se utilizó la energía del fuego para cocinar sus alimentos; la hidráulica para mover molinos rudimentarios al igual que la eólica y la solar para secado de granos alimenticios.

A medida que los pueblos crecían requerían de mayores servicios, por lo que empezó la búsqueda de fuentes alternas de energía, procedentes del subsuelo, como son los hidrocarburos, el vapor seco y húmedo hasta llegar a la aplicación de energías sofisticadas como la energía nuclear, pero dada su peligrosidad por no tener las alternativas necesarias para el aprovechamiento de los desperdicios radioactivos, se le dio una mayor preferencia a la energía procedente de los hidrocarburos, por ser económica y biodegradable.

Además desde tiempos bíblicos a los hidrocarburos se les conocía como betún siendo Noé el que lo utilizó como impermeabilizante para proteger y calafatear su arca; los babilonios y los asirios, lo empleaban para alumbrado en sustitución del aceite vegetal y como cemento en sus construcciones; los árabes y los hebreos para usos medicinales; los romanos como bombas incendiarias para destruir las flotas enemigas; los egipcios en sus prácticas de embalsamamiento y en las pinturas de los muros de sus tumbas.

Los chinos fueron los primeros en utilizar el gas natural para alumbrado, sirviéndose de tubos de bambú; por su parte en México, los

otonacas de la región de Papantla, lo recogían de la superficie de sus aguas para utilizarlo como medicina y como incienso en sus ritos; además, algunas tribus que habitaron las costas mexicanas lo masticaban para limpiar y blanquear su dentadura.

La extracción de hidrocarburos ha requerido de constantes evoluciones en cuanto a las técnicas y equipos utilizados, por lo que ha sido necesario, el desarrollo de recursos humanos capaces de llevar a cabo esta difícil tarea a través de la creación de diferentes disciplinas impartidas en Universidades, Institutos de Investigación y compañías de servicio; las cuales han contemplado la creación de laboratorios para docencia, desarrollo e investigación.

Es por esta razón que se ha visto la importancia de introducir a los alumnos de las diferentes áreas de Ingeniería, a relacionar los conceptos teóricos con los prácticos, con el fin de lograr un desarrollo profesional, que les permita resolver los problemas durante su vida profesional.

Actualmente la extracción de hidrocarburos se ha extendido a diferentes ambientes terrestres, marinos y lacustres; lo cual ha ocasionado que esta sea más compleja y costosa. Por lo que ha sido necesario contar con un mayor apoyo de áreas experimentales con el fin de tener los recursos humanos y materiales necesarios para resolver las diferentes problemáticas.

En el caso específico de la perforación se ha requerido del uso de sistemas hidráulicos que permitan atravesar los diferentes estratos de la corteza terrestre con el fin de llegar a los yacimientos generadores de vapor,

hidrocarburos y agua; los cuales cada día se encuentran a mayores profundidades.

Desde la creación de la carrera de Ingeniería Petrolera y debido a las necesidades de la industria de la perforación, se contempló la creación del Laboratorio denominado Fluidos de Perforación, el cual ha ido evolucionando de acuerdo a las tendencias presentes y futuras; para este fin se vio la necesidad de contar no solamente con equipo y materiales que entraran dentro de una normatividad internacional; sino también con la creación de material didáctico que sirviera a los alumnos como guía para lograr la conexión entre la teoría y la práctica, además de que pudiera ser utilizado por personal profesional involucrado en la industria de la perforación.

Por tal motivo se realizó la creación de un manual guía que permitiera optimizar la experimentación.

## CAPÍTULO II

# PERSPECTIVA HISTÓRICA DE LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN

Los registros más antiguos de la perforación de pozos datan del siglo tercero A. de C. en China. La técnica de perforación con herramienta de cable consistía en dejar caer una pesada herramienta metálica de perforación y retirar la roca pulverizada con un contenedor tubular. Los chinos se encontraban relativamente avanzados en este arte y se les atribuye el haber sido los primeros en utilizar, de manera intencional, los fluidos en el proceso de perforación. En este caso el fluido era agua. El agua suavizaba la roca permitiendo que la penetración fuese más fácil y ayudaba a la eliminación de pedazos de roca pulverizada conocidos como recortes.

En 1833, un ingeniero francés de nombre Flauville se hallaba mirando la operación de perforación con herramienta de cable cuando el aparato de perforación descubrió agua. Entonces, se dio cuenta que el agua que brotaba era muy efectiva para sacar los recortes fuera del pozo. Éste fue el momento en que se estableció el principio de usar un fluido en movimiento para retirar los recortes del pozo. El francés ideó una manera para que el agua se bombeara hacia abajo dentro de una tubería de perforación, y arrastrara los recortes consigo cuando regresara a la superficie, en el espacio entre la tubería de perforación y la pared del pozo. Este es el procedimiento estándar utilizado aún hoy en día.

Este fluido de perforación puede ser considerado como la “sangre” de los sistemas perforación rotatoria utilizados en la actualidad; ya que un pozo de gas o de aceite simplemente no puede ser perforado sin la circulación constante de un fluido que facilite la perforación del pozo y que además preserve la integridad del agujero hasta que éste sea protegido con la tubería de revestimiento.

Los fluidos de perforación fueron introducidos al mismo tiempo que la perforación rotatoria, en el año de 1900; y desde entonces, han evolucionado junto con la industria petrolera. En 1901, en el campo Spindletop, se utilizó el sistema de perforación rotatoria que se sigue utilizando hasta la actualidad, para perforar el pozo descubridor, y además marca el inicio de la utilización de los fluidos de perforación.

Sin embargo, la primera discusión sobre los lodos de perforación apareció hasta 1914, y fue hecha por Heggen y Pollard en Oklahoma, quienes recomendaron que en los equipos de pulseta o de perforación a percusión, se mantuviera el agujero lleno de lodo, para tener suficiente presión hidrostática y evitar los “reventones”. De esta manera apareció la primera definición de lodo la cual lo definía como: *“Una mezcla de agua con cualquier arcilla, la cual queda suspendida en el agua por un tiempo considerable”*.

No es sino hasta 1921 cuando aparece la historia moderna de los fluidos de perforación, con el intento de controlar las propiedades de los mismos, siendo Stroud el que recomendaba el uso de material inerte y pesado para incrementar la densidad de los lodos y evitar también los “reventones”, utilizando por primera vez a la Barita ( $\text{BaSO}_4$ ), en lugar del óxido de hierro que se utilizó en un principio.

El uso de las bentonitas o arcillas bentoníticas, como agentes de suspensión no fue descubierto sino hasta 1929.

El desarrollo hasta los presentes días del equipo para verificar las propiedades del lodo empezó en 1931, cuando Marsh introdujo el embudo

para medir la viscosidad de los lodos. En este mismo año la técnica actual para medir las viscosidades con el viscosímetro Stormer en centipoises y a 600 r.p.m., además de las gelatinosidades, fue recomendada a la Industria Petrolera.

Después de 1931, el progreso en el arte de arreglar y tratar los lodos de perforación se ha desarrollado rápidamente. Numerosos investigadores estudian la estructura y propiedades de las bentonitas, así como sus propiedades para formar los “enjarres”, demostrando ser de gran trascendencia en los programas de perforación, en este año se definieron casi todas las técnicas de Laboratorio y aparatos utilizados hasta la fecha.

La aparición de los primeros agentes químicos para tratar los lodos data del año 1929, y consistía en el uso de agentes alcalinos para incrementar la viscosidad y evitar el asentamiento de los materiales inertes y pesados.

Se puede afirmar que el arte de controlar las propiedades de los lodos de perforación ha pasado a través de un estado experimental. La dirección de los estudios y descubrimientos futuros, parece ser, hacia el uso de pocos y más estandarizados materiales, que, teniendo propiedades específicas venzan todas las dificultades presentadas en la perforación.

El uso de lodos basados en silicato de sodio, como intento para resolver los problemas de las lutitas deleznablees se usó a mediados de 1930, en la Costa del Golfo. En este tiempo también fue obtenido el primer lodo base aceite. Hasta el año de 1935 se obtuvo el primer lodo utilizando almidón para

disminuir la pérdida de agua en lodos salinos, en los que la bentonita no es efectiva.

La demanda creciente de petróleo promovió nuevos retos en la perforación, pero la tecnología de fluidos había permanecido estática; razón por la cual se dispusieron gran cantidad de recursos para mejorar el entendimiento que se tenía acerca de la química de los lodos para desarrollar nuevos métodos de aplicación, refinar los procedimientos de campo; así como desarrollar aditivos especiales para prevenir y corregir los problemas relacionados a los lodos.

A raíz de esto surgieron sistemas innovadores, siendo algunos de ellos cambios radicales, como la aparición del gas natural y del aire como fluidos de perforación, a fin de aumentar los ritmos de perforación en formaciones duras y con poca agua.

Se desarrollaron polímeros naturales y sintéticos que se convirtieron en la base de una nueva familia de fluidos de perforación; además se produjo el desarrollo de fluidos base aceite, que originalmente fueron introducidos para minimizar el daño provocado a las formaciones, pero que posteriormente evolucionaron en sistemas de alto desempeño adecuados para su uso en las condiciones más adversas para perforar los pozos.

A mediados de los 70's, la industria petrolera gozaba de gran auge cuya cima llegó al inicio de la siguiente década. Paralelamente, se le dio más atención a los aspectos de seguridad en cuanto al manejo y almacenamiento de los materiales inflamables; sin embargo, los aspectos relacionados a la salud y

al medio ambiente no eran prioritarios en el momento, lo cual cambió en el año de 1978, cuando el gobierno y las agencias estatales estadounidenses, resolvieron minimizar el impacto ambiental que causaba el desecho de los lodos y de los recortes contaminados hacia el mar.

Lo anterior produjo el desarrollo a principios de la década de 1990, de los fluidos de alto rendimiento y menos contaminantes de base sintética, los cuales han provocado un gran impacto; debido a que, a pesar de sus costos (entre 2 y 8 veces) mayores a los fluidos convencionales, sus altas relaciones desempeño-costos y su baja contaminación ambiental han hecho de este tipo de fluidos la mejor alternativa para la perforación de pozos que presenten condiciones críticas.

La tecnología de los fluidos de perforación está dominada por tres factores: desempeño, economía y aspectos ambientales. El entendimiento de cada una de estos factores reducirá los elementos de riesgo inherentes en cualquier operación de perforación, por lo que el objetivo principal es la búsqueda de un balance entre estos tres factores, ya que a pesar de que los gastos promedio en cuanto a los fluidos no sobrepasan el 8% de los costos tangibles, se puede observar que este fluido de perforación es vital para lograr el éxito en cualquier proyecto de construcción de un pozo.

## CAPÍTULO III

# PRÁCTICAS EFECTUADAS EN EL LABORATORIO DE PERFORACIÓN DE POZOS

TRISIS CON  
FALTA DE ORIGEN

## **Tipos de Pruebas**

Las pruebas que se le aplican a los fluidos de perforación y terminación, pueden clasificarse en tres categorías: pruebas físicas, químicas y fisicoquímicas, esto de acuerdo a normas aprobadas por el American Petroleum Institute (API) y la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI); por lo que a continuación se dará la clasificación de las pruebas que se deben realizar a los Fluidos de Perforación:

- **Pruebas Físicas.**

- Determinación de la densidad de materiales sólidos.
- Determinación de la densidad de líquidos.
- Cuantificación de fases líquidas y sólidas.
- Determinación de la pérdida de fluido.
- Determinación de la resistividad.
- Determinación de la estabilidad térmica.
- Determinación de humedad.
- Determinación del contenido de arena.

- **Pruebas Químicas.**

- Acidez y alcalinidad (pH).
- Intercambio catiónico (prueba de azul de metileno)
- Salinidad.
- Dureza.

▪ **Pruebas Físicoquímicas.**

- Análisis de propiedades reológicas y tixotrópicas.
- Determinación de la Tensión Interfacial.

A continuación se describirán cada una de las pruebas realizadas por los alumnos a lo largo de un semestre en el Laboratorio de Fluidos de Perforación y Terminación de Pozos.

## PRÁCTICA # 1

### “Análisis cualitativo de propiedades y funciones básicas de un fluido de perforación”

#### OBJETIVO.

Conocer el uso de materiales arcillosos en función de las propiedades que desarrollan en un medio acuoso para establecer órdenes de adición para elaborar un sistema hidráulico de perforación.

#### INTRODUCCIÓN.

En los primeros días de la perforación rotatoria, la función primaria de los fluidos de perforación era sacar los recortes del fondo del agujero a la superficie; sin embargo, actualmente se reconoce que el lodo de perforación tiene al menos nueve funciones importantes; las cuales son:

1. *Remoción y acarreo de los recortes hacia la superficie.* El acarreo de recortes del fondo del agujero, es todavía una de las funciones más importantes de los lodos. El fluido que sale de los chorros de la barrena, ejerce una acción de limpieza sobre los roles de la barrena y la cara del fondo del agujero; logrando de esta forma, una mayor vida de la barrena y más eficiencia en la perforación.

El fluido circulante se levanta del fondo acarreado los recortes hacia la superficie; por la influencia de la gravedad los recortes tienden a asentarse a través del fluido ascendente, pero al circular una cierta cantidad de fluido con la velocidad suficiente, es posible nulificar este efecto, acarreado los recortes hacia la superficie. La efectividad del lodo para sacar los recortes a la superficie depende de varios factores, entre los que se encuentran:

- **Viscosidad:** La viscosidad tiene una gran significación en el acarreo de recortes, ya que, la viscosidad depende de la cantidad, la calidad y la concentración de los sólidos suspendidos. En el campo se mide con el Embudo Marsh, con el viscosímetro Stormer o con el Fann.
- **Velocidad:** La velocidad en el espacio anular es un factor importante para sacar los recortes hacia la superficie, y frecuentemente para este propósito se utilizan velocidades entre 100 y 200  $\frac{\text{pies}}{\text{min}}$ . La velocidad depende de la capacidad de la bomba, del tamaño del agujero y de la tubería de perforación. Los cálculos para obtener la velocidad en el espacio anular, se realizan de la siguiente manera:

$$\text{Velocidad anular} = \frac{\text{Gasto de la bomba (barriles/minuto)}}{\text{Volumen anular (barriles/100pies)}}$$

- II. *Suspender los recortes y material de peso cuando se interrumpe la circulación.* Si se interrumpe la circulación, como cuando es necesario retirar la tubería de perforación del pozo o cuando falla la corriente, el material grueso y pesado que está en suspensión en el fluido dentro del pozo inmediatamente empezará a asentarse hacia el fondo, acumulándose tal vez en cantidad suficiente cerca de la barrena y del lastrabarrena para pegarlos a las paredes o hacer difícil el restablecimiento de la circulación. Como una defensa contra este tipo de dificultades, es importante que el fluido de perforación tenga una consistencia que evite el asentamiento rápido de los sólidos suspendidos.

La alta viscosidad es ventajosa para mantener los sólidos en suspensión; las propiedades coloidales bien desarrolladas también aseguran una velocidad de asentamiento mínima. Algunas arcillas tienen tendencias

tixotrópicas tan bien desarrolladas que, en un tiempo corto después de estar en reposo, el fluido que las contiene se gelatiniza resultando una suspensión permanente de todas las partículas sólidas; sin embargo, la agitación posterior que se produce al restablecer la circulación regresará este lodo gelatinizado nuevamente a sus condiciones de fluido.

*III. Cubrir la pared con un enjarre impermeable.* Un buen lodo de perforación deberá depositar un buen enjarre en la pared del agujero para consolidar la formación y retardar el paso de fluido hacia la formación. Esta propiedad del lodo se mejora aumentando la fracción coloidal del lodo por adición de bentonita y tratando químicamente el lodo para mejorar la dispersión y la distribución de sólidos. En muchos casos es necesario añadir almidón o algunos otros aditivos de control de pérdida de agua para disminuir la pérdida de agua.

*IV. Controlar las presiones debajo de la superficie.* La contención apropiada de las presiones de la formación, depende de la densidad o peso del lodo. La presión normal es igual a  $0.45 \frac{\text{libras}}{\text{pie}}$  de profundidad, ya que 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 de 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 lodo, y la presión hidrostática que una columna de lodo ejerce sobre un punto del agujero, se calcula como:

$$\text{Presión hidrostática} = \text{prof. en pies} \times \text{peso del lodo en} \left( \frac{\text{libras}}{\text{galón}} \right) \times 0.052$$

V. *Desprender la arena y los recortes en la superficie.* Una vez que se restablece la circulación, el lodo regresará a su condición de fluido y estas partículas se depositan en la superficie junto con la arena. Para medir la cantidad de arena en el lodo, se usa la malla y el elutiómetro; una comparación del contenido de arena en la salida del lodo con la que tiene en la succión de la bomba, dará indicaciones acerca de si la arena se está asentando en forma apropiada en la superficie, o si se recircula.

Se tendrá un alto contenido de arena en la salida del lodo cuando se perforan formaciones muy arenosas; y debido a que la arena es extremadamente abrasiva si se recircula en el sistema, las bombas y uniones se dañarán; por lo que deberán hacerse pruebas periódicas del contenido de arena para mantenerlo en menos del 2%.

VI. *Soportar parte del peso de las tuberías.* Al aumentar las profundidades, el peso soportado por el equipo superficial de perforación va aumentando considerablemente. Debido a que la tubería de perforación o la de revestimiento se encuentran sumergidas en el lodo de perforación, sufren un empuje de abajo hacia arriba igual al peso del lodo desplazado, por lo que, un aumento en la densidad del lodo, aumentará el empuje y necesariamente reducirá el peso total soportado por el equipo superficial.

VII. *Reducir a un mínimo cualquier efecto adverso sobre la formación adyacente al agujero.* El fluido utilizado para perforar la zona productora tiene una gran influencia en la productividad del pozo; ya que en estos daños a la formación, están inmersas diversas variables como los aspectos de la formación de la zona productora, las técnicas de perforación y terminación utilizadas; las propiedades de los fluidos de perforación y terminación que hayan sido empleados; así como el control de la filtración y la composición química de este filtrado determinarán el grado en el cual se ha dañado las propiedades originales de nuestra zona productora.

- VIII. *Asegurar la máxima información acerca de las formaciones penetradas.* Se necesitan las propiedades óptimas del fluido de perforación para ofrecer la máxima protección a la formación; sin embargo, algunas veces estas propiedades deben sacrificarse para obtener el máximo conocimiento de las formaciones que se van perforando. Por ejemplo, la sal puede contaminar el lodo y aumentar la pérdida de agua, pero puede dejarse para controlar la resistividad del lodo y de esta manera tener una mejor interpretación de los registros eléctricos que se efectúen en las estratos perforados. De la misma manera, el aceite puede mejorar el comportamiento de un lodo y aún la producción de un pozo, pero si interfiere con el trabajo de los geólogos debe evitarse la inclusión de aceite en el lodo de perforación.
- IX. *Enfriar y lubricar la barrena y las tuberías de perforación.* Debido a que se genera una gran cantidad de calor debido a la fricción entre la barrena y la tubería de perforación en contacto con la formación, hay pocas posibilidades de que este calor se disipe hacia la formación, por lo que el lodo debe servir como líquido de enfriamiento. El calor que se produce en los puntos de fricción se disipa al salir el lodo a la superficie; además de que en menor grado, el lodo posee propiedades lubricantes; lo cual se manifiesta en la disminución de la fuerza de torsión, el aumento de la vida de la barrena, la reducción de la presión de bombeo, etc.

#### CONOCIMIENTOS PREVIOS REQUERIDOS.

1. **Hidratación.** La hidratación se refiere a la incorporación de las moléculas del agua con las moléculas de las arcillas.
2. **Humectación.** Es el agua que está impregnando a un cuerpo o que, vaporizada, se mezcla con el aire.

3. **Granulometría (Tamaño de partículas).** La granulometría es el análisis que se realiza en el laboratorio para determinar el tamaño de las partículas que componen un material.
4. **Suspensión.** Estado de un cuerpo que se encuentra dividido en partículas muy pequeñas distribuidas en un fluido, sin disolverse en el mismo.
5. **Solución.** Mezcla ópticamente homogénea de dos o más sustancias. La que entra en menor proporción en la mezcla se llama soluto, y la de mayor, solvente.
6. **Dispersión.** Mezcla de dos componentes, uno de los cuales está en forma sólida, coloidal o de gotas, que se distribuyen por toda la masa del segundo.
7. **Clasificación de fluidos de acuerdo a su fase portadora.** Un fluido de perforación que es fundamentalmente líquido, se denomina también lodo de perforación, y generalmente se trata de una suspensión de sólidos. Líquidos o gases en un líquido; el líquido en el cual están suspendidos los aditivos se denomina *fase continua o portadora del lodo*, mientras que a las partículas de los sólidos o líquidos suspendidos se les conoce como *fase discontinua*.

De acuerdo a la naturaleza de su fase continua o portadora, los fluidos de perforación se clasifican en base aire, agua y aceite.

- **FLUIDOS BASE AIRE.**

La utilización del aire como fluido de circulación en las operaciones de perforación de pozos ha representado un avance significativo. Se ha comprobado que la aplicación de esta técnica da como resultado mayores velocidades de penetración, mayor vida de la barrena y reducción en los costos de perforación; esto se debe principalmente a que la presión

hidrostática ejercida por la columna de aire es muy reducida, debido a su densidad.

Por otro lado, como todas las técnicas empleadas en la perforación, ésta presenta algunas desventajas como son el riesgo de incendio y explosiones, derrumbes de formaciones deleznable y problemas al atravesar formaciones con alto contenido de fluidos. Sin embargo, estos problemas pueden minimizarse mediante la utilización de agentes espumantes para la generación de niebla o espuma.

El riesgo de incendio o de explosión que se tiene cuando se perforan pozos con flujo de gas, se puede reducir al utilizar Bióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ) o Nitrógeno ( $\text{N}_2$ ) como fluido en sustitución del aire, para evitar las mezclas aire-gas en relaciones altamente inflamables o explosivas.

En las operaciones de perforación, terminación y reparación de pozos, en donde se utiliza aire, niebla, espuma o fluidos aireados, se tiene un medio corrosivo al formarse mezclas con los gases ácidos que fluyen de la formación y propician la corrosión o solamente al introducir el oxígeno del aire se acelera la corrosión de las tuberías. También usando Bióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ) y Nitrógeno ( $\text{N}_2$ ) en la preparación de estos fluidos base aire, se reduce el problema de corrosión. Además se pueden usar productos químicos para contrarrestar la corrosión cuando no se disponga de gases inertes.

#### Fluidos Usados

- Aire.- El aire se utiliza para perforar formaciones en las que se tienen problemas de pérdidas de circulación, porque las densidades de los fluidos más ligeros base agua o aceite fracturan la formación y es necesario disminuir la columna

hidrostática utilizando aire como fluido de control para obtener avances altos en la perforación en formaciones consolidadas de caliza.

También se puede decidir el perforar con aire aquellos intervalos de formaciones muy porosas en las que cualquier otro fluido se perdería; los recortes que se obtienen son en forma de polvo. La desventaja de usar estos fluidos es que no se puede perforar cuando se tiene flujo de agua al pozo.

- Niebla.- La niebla está constituida por una dispersión de pequeñas gotas de un líquido en un gas.

Cuando se encuentran flujos de agua durante la perforación con aire, se adiciona un jabón para favorecer la formación de niebla y entonces se tiene la perforación con niebla. Esto se logra agregando pequeños volúmenes de un jabón concentrado dentro de la corriente de aire en la superficie, formándose la mezcla de fluidos dentro de la tubería de perforación.

Esto puede controlarse siempre y cuando el flujo de agua no sea muy grande y no haya problemas debido a la presencia de las arcillas sensibles al agua.

- Espumas.- Las espumas están formadas por una dispersión de un gas en un líquido. Principalmente se emplean para operaciones de perforación en formaciones depresionadas y con alta permeabilidad, para despegar tuberías, para lavar formaciones no consolidadas con alta permeabilidad.

Para usar las espumas como fluido es necesario mantener una columna continua con una consistencia suficiente para satisfacer las condiciones de las operaciones y levantar los fluidos y recortes que se incorporan para sacarlos hasta la superficie.

La consistencia de la espuma se controla para satisfacer las condiciones del pozo. Esta consistencia se obtiene al mantener la proporción adecuada de líquido-agente espumante-gas.

- Fluidos Aireados.- Un fluido aireado es cualquier fluido al cual se le inyecta aire para reducir la presión hidrostática que ejerce sobre el fondo del pozo para evitar fracturas inducidas y pérdidas de circulación. Esto se logra colocando una tubería parásita cuando cementan la última tubería de revestimiento para alimentar el aire hacia el espacio anular cuando se presente la pérdida.

- FLUIDOS BASE AGUA.

El agua fue el primer fluido de perforación y sigue siendo el componente principal de la mayoría de los fluidos de perforación

El agua puede contener varias sustancias disueltas o en suspensión, por ejemplo: sales, surfactantes, polímeros orgánicos, gotas de aceite dispersas, barita, arcillas, cal, yeso, etc.

### Fluidos Usados

- Fluidos Naturales.- El primer fluido natural utilizado es el agua y se utiliza para perforar el primer intervalo de un pozo. En esta primera etapa es suficiente el utilizar agua para acarrear los recortes de la formación que es muy porosa y se tienen altos filtrados de líquido hacia la formación. Conforme se avanza en la perforación, parte de los sólidos arcillosos perforados se incorporan al agua, proporcionándole características para levantar los recortes y limpiar el fondo del pozo. En estos fluidos no es necesario agregar materiales viscosificantes, reductores de filtrado y densificantes, ya que los mismos sólidos perforados dan las características necesarias para poder perforar este primer intervalo utilizando agua como fluido de perforación. También puede usarse agua de río, de lagunas, de mar, etc.
- Fluidos Bentoníticos.- Estos fluidos pueden ser bentoníticos puros o bentoníticos tratados y se preparan utilizando agua dulce, bentonita, reductores de filtrado, dispersantes, materiales densificantes y sosa cáustica. Estos fluidos requieren de un control de sus propiedades reológicas, de filtración y de una cierta densidad para controlar las presiones de la formación. Los fluidos bentoníticos son sensibles a las contaminaciones con calcio y a la contaminación con sales como el NaCl (Cloruro de Sodio),  $\text{CaCl}_2$  (Cloruro de Calcio); así como cuando hay flujo de fluidos de la formación hacia el pozo, lo que provoca un aumento en las propiedades reológicas (floculando a la bentonita) y aumentando el volumen de filtrado. Cuando las contaminaciones con calcio son muy drásticas, es necesario dar tratamientos con  $\text{Na}_2\text{CO}_3$

(Carbonato de Sodio) ó  $\text{NaHCO}_3$  (Bicarbonato de Sodio) para precipitar el calcio como  $\text{CaCO}_3$  (Carbonato de Calcio). La contaminación con sal se contrarresta agregando agentes dispersantes al fluido manteniendo el pH del mismo entre 9 y 10. Si la contaminación con sal es mayor de 50,000 p.p.m. de  $\text{Cl}^-$  es muy difícil de controlar el fluido y deberá ser cambiado. En ocasiones es conveniente agregar diesel al fluido para mejorar las características reológicas y de filtración agregando antes un agente emulsionante, que puede ser el mismo agente dispersante y estos fluidos se conocen como fluidos de CLS emulsionados.

- **Fluidos Salados.-** Son fluidos con salinidades menores de 70,000 p.p.m. y pueden elaborarse empleando bentonita prehidratada en agua dulce o atapulguita. Estos fluidos se usan para perforar mar adentro o en donde se esperan contaminaciones con sal. Estos lodos se formulan también con polímeros como la Carboxitemil Celulosa de Sodio (CMC), Hidroxietilcelulosa (HIEC), Goma Xántica (XC-Polymer), etc., y además se puede emplear el agua de mar salinizada con  $\text{NaCl}$ ,  $\text{KCl}$  y  $\text{CaCl}_2$ ; estos sistemas reducen el empleo de arcillas dispersas, como son la bentonita y la barita.
- **Fluidos Cálceos.-** Estos fluidos se utilizan para perforar formaciones saladas, lutitas y de anhidrita; en estos fluidos se debe mantener un exceso de cal para poder conservar sus propiedades reológicas y de filtración. La desventaja principal de estos fluidos es la de que se incrementan las propiedades reológicas y se degradan a  $150\text{ }^\circ\text{C}$ . Un fluido bentonítico puede convertirse a cálcico dándole un

tratamiento adecuado. A estos fluidos no les afectan las contaminaciones con sal o con cemento, pero incrementan considerablemente las propiedades reológicas y tixotrópicas, y disminuye la velocidad de penetración.

- Fluidos a base de Yeso.- Estos fluidos son similares a los cálcicos, sólo que en su preparación se utiliza yeso en lugar de cal. Estos pueden emplearse para perforar lutitas, anhidrita, cemento y cantidades moderadas de sal. Sin embargo, tienen el inconveniente de incrementar considerablemente las propiedades tixotrópicas, sobre todo a temperaturas mayores de 150 °C. Su principal limitante también es la temperatura, ya que a los 165 °C se degradan.

- FLUIDOS BASE ACEITE.

Los fluidos base aceite se pueden clasificar en dos grupos: aceites y emulsiones inversas; ambos tienen aceite como fase continua. El aceite más utilizado es el diesel, pero también se puede emplear aceite crudo, kerosina, etc. Algunos fluidos tienen agua emulsionada como fase dispersa, a los cuales se les denomina emulsiones inversas (agua en aceite), en el agua pueden tenerse electrolitos y para mantenerse estables requieren de un agente emulsionante.

#### Fluidos Usados

- Emulsión de aceite en agua o directa.- Es aquella cuya fase continua es el agua o un electrolito y la fase dispersa un aceite o una mezcla de aceites.

- **Emulsiones Inversas.** Las emulsiones inversas están formuladas con aceites, agua o salmueras, emulsionantes, viscosificantes, reductores de filtrado, gelantes, surfactantes y densificantes. Estas son muy estables a altas temperaturas y no les afectan las contaminaciones con anhídrita, sal y cemento. Su principal y más dañino contaminante, es el agua la cual puede provenir de la formación o del medio ambiente (Lluvia).

De acuerdo con la naturaleza y la concentración del electrolito que se utilice en su fase dispersa, una emulsión inversa puede deshidratar, hidratar o dejar sin alteraciones a las lutitas que se perforan con dicho fluido.

### **FASE EXPERIMENTAL**

#### **MATERIAL Y EQUIPO.**

- Bentonita.
- Barita.
- Agua.
- Dispersor.

#### **PROCEDIMIENTO.**

- a) El alumno deberá identificar y diferenciar las arcillas con las cuales trabajará a lo largo del semestre por medio de sus propiedades físicas y químicas.
- b) Una vez que ha identificado qué recipiente contiene a cada arcilla, se procederá a explicar en forma más concreta las propiedades que cada una de ellas cumple dentro del lodo de perforación.

- c) Posteriormente y basándose en lo explicado, el alumno elaborará tres lodos en forma libre para que determine el orden de adición y la cantidad de cada arcilla en el lodo, de forma cualitativa. En estos lodos deben mantener constantes las masas de material densificante y de material sustentante, así como el volumen de agua usado y el tiempo de agitación; lo que variará será el equipo de agitación que utilicen, con el fin de que observen como actúa cada uno de ellos.
- d) Una vez elaborados los lodos, se les describirán las propiedades que debe tener un fluido de perforación y la relación de estas propiedades con sus funciones.

### RELACIÓN DE LA DENSIDAD Y EL CONTROL DE LA PRESIÓN DE FORMACIÓN

La presión de formación ejercida por los fluidos contenidos en la formación (aceite, agua y gas) deben equilibrarse con la presión hidrostática del fluido de control. Esta presión es una función de la profundidad y la densidad del fluido.

$$\text{Presión hidrostática} = \frac{\text{Densidad} \times \text{Profundidad}}{10}$$
$$P_h = \frac{D \times H}{10}$$

Así es que la presión normal de formación no es más que la densidad promedio de los fluidos contenidos en los poros de la formación.

Existen además zonas de presiones anormales de formación; las cuales son originadas por asentamientos estructurales que ocurren dentro del subsuelo; entre los que se encuentran la compactación y la cementación de los granos, la existencia de zonas muy fracturadas, las acumulaciones cerradas y la erosión.

Debido a esto, la presión total de formación equivale al peso de una columna de agua salada de aproximadamente  $1.8 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$ , más el peso de las rocas y de los fluidos contenidos en ellas.

Las presiones se conocen y se determinan por regiones, y se obtienen de datos de presiones de formación reales de pozos de desarrollo en determinados lugares.

### RELACIÓN ENTRE LA DENSIDAD Y EL SOPORTE DEL PESO DE LA TUBERÍA

El efecto de flotación ayuda a optimizar el rendimiento del equipo al soportar el peso de la sarta o la tubería cuando esta se sumerge en el fluido y permite realizar con menor dificultad las operaciones de terminación y reparación de pozos.

### RELACIÓN ENTRE LA VISCOSIDAD Y EL ACARREO DE RECORTES

La propiedad de viscosidad o resistencia interna al flujo, es la cualidad directamente relacionada con la importante función de acarreo de recortes. Los recortes, cemento, fierro, arena, por ser sólidos y por consiguiente más pesados que el fluido de perforación, tenderán a caer debido a la fuerza de gravedad, esto se evita gracias a la viscosidad del fluido y a la velocidad de acarreo en el espacio anular.

Un fluido con suficiente viscosidad permitirá que la fuerza centrífuga, provocada por la fuerza de rotación aplicada a la tubería empuje a los recortes a la parte central del espacio anular donde existen las velocidades de acarreo más altas.

Cuando el fluido no posee una viscosidad suficiente, exigirá a cambio, un incremento de la velocidad anular; lo cual no siempre es recomendable, por el daño que se le puede ocasionar a la formación al erosionarse con el fluido.

**RELACIÓN ENTRE LA GELATINOSIDAD Y LA SUSPENSIÓN DE RECORTES.**

El control del efecto de la formación de estructuras gelatinosas está en relación directa con la viscosidad y la concentración de los sólidos en suspensión.

El grado de gelificación debe ser tal que permita la suspensión de recortes y que además no ofrezca un alto grado de resistencia al introducir nuevamente la sarta o la tubería, por el riesgo que esto tienen de dañar la formación.

**DIAGRAMAS DESCRIPTIVOS.**

Realizar los diagramas correspondientes a los equipos de mezclado, con los que cuenta el laboratorio.

**RESULTADOS.**

EQUIPO	Vol. De Agua (ml)	Masa de Bentonita [gr]	Masa de Barita [gr]	Tiempo de Agitación	Equipo de Agitación Usado	Observaciones

**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

<b>FUNCIONES</b>	<b>PROPIEDAD</b>
Acarreo y remoción de partículas sólidas	Viscosidad
Suspensión de partículas	Gelatinosidad
Control de presiones	Densidad
Control de la filtración	Impermeabilidad

**CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES.**

**BIBLIOGRAFÍA.**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

## PRÁCTICA # 2

### “Matraz Le’Chateliere”

#### OBJETIVO.

Determinar la densidad de materiales sólidos mediante el uso del matraz Le’Chateliere, para establecer un control de calidad de éstos.

#### INTRODUCCIÓN.

La densidad del lodo es uno de los factores que influyen en el avance de la perforación; ya que la presión hidrostática que existe en los pozos de perforación por causa del peso del fluido de perforación, afecta a las propiedades físicas de la roca que se está perforando, lo cual se verifica con el hecho de que al emplear fluidos con menor densidad que los lodos como el aire, gas, espumas, etc., se obtiene un mayor avance, que al emplear lodos con alto contenidos de sólidos.

La densidad de un lodo depende de la cantidad y del peso de los sólidos en suspensión; es por ello que se hace sumamente importante el contar con un método que nos pueda determinar la densidad de los materiales arcillosos sólidos que componen el fluido de perforación.

Debido a la complejidad que implica la medición de los materiales sólidos arcillosos empleados en la elaboración de los fluidos de perforación, se usa el Matraz Le’Chateliere, el cual tiene la cualidad de medir la densidad y peso específico de materiales sólidos; para esto se requiere tener un líquido como referencia y que no reaccione con el material a probar; razón por la cual se utiliza el diesel en lugar de agua; la cual puede provocar la hidratación de las arcillas provocando lecturas y mediciones erróneas.

El fundamento en el que se basa el Matraz Le'Chatelierre es el principio de Arquímedes el cual expresa; "Todo cuerpo sumergido en un fluido recibe un empuje hacia arriba igual al peso del fluido desalojado".

También se pueden hacer mediciones de densidad y peso específicos para líquidos, pero para este caso se necesita que el líquido a medir sea inmiscible con el líquido de referencia.

### CONOCIMIENTOS PREVIOS REQUERIDOS.

1. **Principio de Flotación de Arquímedes.** Un fluido en reposo ejerce una fuerza resultante dirigida hacia arriba sobre cualquier cuerpo que se sumerja total o parcialmente en aquél; a ésta se le llama fuerza de flotación. Dicha fuerza se obtiene de la diferencia entre la fuerza que actúa en la parte superior del cuerpo y la que actúa en su parte inferior.

Considere el cuerpo PQRS de la Figura 3.1, para el caso de un líquido; la fuerza dirigida hacia arriba que actúa en la parte inferior es igual al peso del líquido real o imaginario correspondiente al volumen contenido en PSRNM. La fuerza vertical hacia abajo sobre la parte superior del cuerpo es igual al peso del líquido contenido en PQRNM.

Al restar esta fuerza de la primera, se obtiene una fuerza resultante hacia arriba igual al peso del líquido correspondiente al volumen desplazado por el cuerpo, es decir, al volumen PQRS.

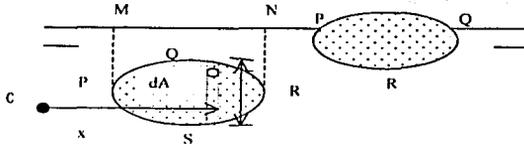


Figura 3.1 Principio de Flotación de Arquímedes

El resultado anterior se conoce como Principio de Arquímedes y se expresa como:

$$F_n = V \times \gamma$$

Donde  $F_n$  es la fuerza de flotación,  $V$  el volumen de líquido desplazado y  $\gamma$  su peso específico.

- 2. Densidad.** Masa de un cuerpo por unidad de volumen. En ocasiones se habla de densidad relativa que es la relación entre la densidad de un cuerpo y la densidad del agua a 4 °C, que se toma como unidad. Como un centímetro cúbico de agua a 4 °C tiene una masa de 1 gr, la densidad relativa de la sustancia equivale numéricamente a su densidad expresada en gramos por centímetro cúbico.

La densidad puede obtenerse de varias formas. Por ejemplo, para objetos macizos de densidad mayor que el agua, se determina primero su masa en una balanza, y después su volumen; éste se puede calcular a través del cálculo si el objeto tiene forma geométrica, o sumergiéndolo en un recipiente calibrado con agua, y viendo la diferencia de altura que alcanza el líquido. La densidad es el resultado de dividir la masa por el volumen.

Para medir la densidad de líquidos se utiliza el densímetro, que proporciona una lectura directa de la densidad.

- 3. Principio de Sifón.** Sistema de tubos o cañerías en forma de J invertida, empleado para transportar un líquido desde un recipiente hasta otro situado más abajo, a través de un punto intermedio de altura superior a ambos recipientes. Cuando ambas ramas del sifón están llenas, el peso del líquido en la rama más larga es mayor que el de la rama más corta, lo que hace que el líquido ascienda por la rama corta, pase por el codo y descienda por la rama larga. El proceso puede iniciarse llenando el sifón de líquido antes de colocarlo en su posición de funcionamiento o succionando por el extremo

inferior una vez colocado el sifón. Una vez iniciado, el flujo continuará hasta que el nivel del líquido en ambos recipientes se iguale o hasta que el nivel en el recipiente superior caiga por debajo de la entrada del sifón, con lo que éste aspirará aire y el proceso de sifonado se interrumpirá.

El tamaño de los sifones va desde los sencillos instrumentos de vidrio, metal o goma que se utilizan en los laboratorios de química hasta los sistemas de acueductos empleados para transportar líquidos por encima de una elevación o colina, que se basan esencialmente en el mismo principio. Los sistemas de sifonado de gran tamaño, como los empleados en las redes urbanas de distribución de agua, tienen frecuentemente una válvula en su parte más alta para sacar el aire, que bloquearía el flujo de líquido. En un sifón de agua colocado entre dos recipientes en contacto con la atmósfera, la altura del sifón sobre el recipiente superior debe ser menor de 10 m, ya que la presión atmosférica no puede mantener el peso de una columna de agua superior a esta altura.

Ocasionalmente se emplean sifones invertidos (en forma de U) para transportar agua a través de un valle. También se emplean en instalaciones de fontanería, que en otros países se denomina plomería, para crear un cierre de agua que impide el paso de malos olores.

- 4. Mojabilidad.** Es una propiedad de superficie en un sistema sólido-fluidos, que indica la afinidad entre los granos del sólido (roca) y cada fluido presente en los espacios entre éstos. Si el aceite y el agua están presentes, generalmente el agua está en contacto con la superficie de cada grano entonces se dice que la roca está mojada con agua. Sin embargo, si el aceite está en contacto con la superficie de los granos se dice que la roca está mojada con aceite. Esto se debe a que el líquido que tiene la más baja tensión interfacial con el sólido (más alta adhesión) será el líquido mojante.

Dado que las rocas de un yacimiento están formadas por empacamientos de fragmentos de pequeños minerales que dejan espacios aún más pequeños, no es posible determinar la mojabilidad por mediciones directas, además de ser un parámetro adimensional.

5. **Miscibilidad.** Propiedad que tienen los fluidos para poder ser mezclados entre ellos en todas proporciones sin separarse en fases.
  
6. **Capilaridad.** Elevación o depresión de la superficie de un líquido en la zona de contacto con un sólido, por ejemplo, en las paredes de un tubo. Este fenómeno es una excepción a la ley hidrostática de los vasos comunicantes, según la cual una masa de líquido tiene el mismo nivel en todos los puntos; el efecto se produce de forma más marcada en tubos capilares (del latín *capillus*, 'pelo', 'cabello'), es decir, tubos de diámetro muy pequeño. La capilaridad, o acción capilar, depende de las fuerzas creadas por la tensión superficial y por el mojado de las paredes del tubo. Si las fuerzas de adhesión del líquido al sólido (mojado) superan a las fuerzas de cohesión dentro del líquido (tensión superficial), la superficie del líquido será cóncava y el líquido subirá por el tubo, es decir, ascenderá por encima del nivel hidrostático. Este efecto ocurre por ejemplo con agua en tubos de vidrio limpios. Si las fuerzas de cohesión superan a las fuerzas de adhesión, la superficie del líquido será convexa y el líquido caerá por debajo del nivel hidrostático. Así sucede por ejemplo con agua en tubos de vidrio grasientos (donde la adhesión es pequeña) o con mercurio en tubos de vidrio limpios (donde la cohesión es grande). La absorción de agua por una esponja y la ascensión de la cera fundida por el pabilo de una vela son ejemplos familiares de ascensión capilar. El agua sube por la tierra debido en parte a la capilaridad, y algunos instrumentos de escritura como la pluma estilográfica (fuente) o el rotulador (plumón) se basan en este principio.

## FASE EXPERIMENTAL

### MATERIAL Y EQUIPO.

- Bentonita.
- Barita.
- Diesel.
- Matraz Le'Chatelierre.

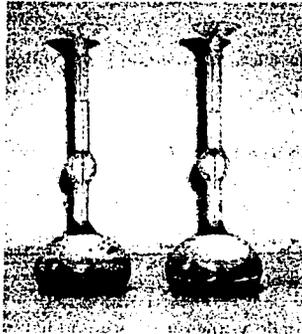


Figura 3.2 Matraz Le'Chatelierre

### PROCEDIMIENTO.

- a) Pesar cantidades conocidas de material arcilloso (bentonita y barita).
- b) Pesar el matraz con tapa y vacío.
- c) Llenar con diesel el matraz hasta la marca de aforamiento.
- d) Volver a pesar el matraz con tapa.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

- e) Introducir con cuidado una cierta masa de material arcilloso.
- f) Una vez introducido todo el material, voltear el matraz con cuidado para limpiar las paredes del matraz y de esta manera lograr el asentamiento del material.
- g) Observar con cuidado el nivel alcanzado por el diesel desplazado, después de cierto tiempo de asentamiento en caso de ser necesario se debe pesar más arcilla para desplazar el diesel a un nivel adecuado.
- h) Pesarse el matraz con tapa y con la arcilla del inciso anterior.
- i) Con los datos de la masa del material y del volumen de diesel que desplaza obtener la densidad.

#### **CUIDADO DEL INSTRUMENTO.**

- Decante el diesel para reciclarlo, dejando un poco en el matraz para lograr la completa remoción del material arcilloso que se encuentra en el interior.
- Agite el matraz con el diesel para lograr romper el asentamiento de las arcillas en el fondo y tírelo a la tarja; no hay problema de contaminación debido a que el laboratorio cuenta con trampas especiales para retener sólidos y grasas.
- Limpie perfectamente el matraz después de realizar las mediciones utilizando agua caliente con jabón para lavar perfectamente el diesel y las arcillas utilizadas en la prueba.
- Meta el equipo al horno para secarlo completamente.

**DIAGRAMAS DESCRIPTIVOS.**

Realizar los diagramas del procedimiento de utilización del matraz para la determinación de la densidad de materiales sólidos.

**RESULTADOS.**

**Para la Bentonita**

Equipo	Peso Inicial del Matraz vacío [gr]	Peso del Matraz Aforado [gr]	Peso Final del Matraz lleno [gr]	Volumen Inicial [ml]	Volumen Final [ml]	Densidad [gr/cc]

**Para la Barita**

Equipo	Peso Inicial del Matraz vacío [gr]	Peso del Matraz Aforado [gr]	Peso Final del Matraz lleno [gr]	Volumen Inicial [ml]	Volumen Final [ml]	Densidad [gr/cc]

**CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES.**

**BIBLIOGRAFÍA.**

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## PRÁCTICA # 3

### “Balanza de lodos y Densímetros”

#### OBJETIVO.

Determinar la densidad de líquidos y de sistemas hidráulicos mediante el uso de la balanza de lodos y los densímetros.

#### INTRODUCCIÓN.

Es en extremo importante conocer la densidad de un lodo en todo el proceso de perforación; especialmente, cuando se encuentra gas, aceite, agua salada, etc., que requieran densidades especiales; así como también cuando se perforan zonas de baja presión donde se necesitan densidades mínimas. En la práctica se suele hablar de peso en el sentido de la densidad, porque la densidad viene a ser el peso de una unidad de volumen de lodo. Comúnmente se le suele expresar en libras por galón, libras por pie<sup>3</sup>, densidad específica, kilogramos por litro y libras por pulgada cuadrada por cada 100 pies de profundidad. Los valores de la densidad específica y de la densidad en kilos por litro son idénticos; esto se debe, a que la densidad específica de un lodo es la relación del peso de un volumen dado de este la peso de un volumen igual de agua destilada, cuyo peso es de un kilogramo por litro. Es conveniente familiarizarse con la conversión de diferentes medidas de la densidad del lodo; y esto se facilita teniendo en mente los siguientes datos:

- Un galón de agua pesa 9.34 libras.
- Un pie<sup>3</sup> de agua pesa 62.4 libras.
- Un pie<sup>3</sup> equivale a 7.48 galones.
- Una columna de agua de 100 pies ejerce una presión de 43.3 libras por pulgada cuadrada.

## **CONOCIMIENTOS PREVIOS REQUERIDOS.**

1. **Principios y ecuaciones que rigen las máquinas simples.** Las cuatro máquinas simples son la palanca, la polea, el torno y el plano inclinado, que consiste en una rampa. El tornillo y la cuña se consideran a veces máquinas simples, pero en realidad son adaptaciones del plano inclinado.

La utilidad de una máquina simple radica en que permite ejercer una fuerza mayor que la que una persona podría aplicar sólo con sus músculos (en el caso de la palanca, el tornillo y el plano inclinado), o aplicarla de forma más eficaz (en el caso de la polea). El aumento de la fuerza suele hacerse a expensas de la velocidad. La relación entre la fuerza aplicada y la resistencia ofrecida por la carga contra la que actúa la fuerza se denomina ventaja teórica de la máquina. Debido a que todas las máquinas deben superar algún tipo de rozamiento cuando realizan su trabajo, la ventaja real de la máquina siempre es menor que la ventaja teórica. La eficacia de funcionamiento de una máquina se obtiene del cociente entre la energía generada (la salida) y la cantidad de energía empleada (la entrada). La eficacia, que se expresa en tanto por ciento, siempre inferior al 100 por ciento.

2. **Principio de flotación de Arquímedes.** Un fluido en reposo ejerce una fuerza resultante dirigida hacia arriba sobre cualquier cuerpo que se sumerja total o parcialmente en aquél; a ésta se le llama fuerza de flotación. Dicha fuerza se obtiene de la diferencia entre la fuerza que actúa en la parte superior del cuerpo y la que actúa en su parte inferior.

Considere el cuerpo PQRS de la Figura 3.1, para el caso de un líquido; la fuerza dirigida hacia arriba que actúa en la parte inferior es igual al peso del líquido real o imaginario correspondiente al volumen contenido

en PSRNM. La fuerza vertical hacia abajo sobre la parte superior del cuerpo es igual al peso del líquido contenido en PQRNM.

Al restar esta fuerza de la primera, se obtiene una fuerza resultante hacia arriba igual al peso del líquido correspondiente al volumen desplazado por el cuerpo, es decir, al volumen PQRS.

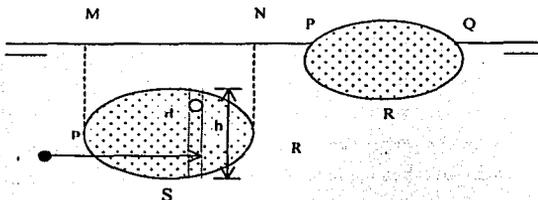


Figura 3.1 Principio de Flotación de Arquímedes

El resultado anterior se conoce como Principio de Arquímedes y se expresa como:

$$F_b = V \times \gamma$$

Donde  $F_b$  es la fuerza de flotación,  $V$  el volumen de líquido desplazado y  $\gamma$  su peso específico.

### 3. Densidad, gravedad específica, peso específico (definición y unidades).

**Densidad:** Masa o peso de una sustancia por unidad de volumen. Por ejemplo, la densidad de un fluido de perforación puede ser de  $1198.2 \text{ Kg/m}^3$ , o  $74.8 \text{ lb/pie}^3$ , o  $10 \text{ lb/gal}$ .

**Gravedad Específica:** También conocida como densidad relativa, es el cociente del peso de un volumen dado de una sustancia, a una temperatura dada y peso de un volumen igual de una sustancia patrón a la misma temperatura. Por ejemplo, si un centímetro cúbico de agua a  $4^\circ \text{C}$  pesa la unidad, y un centímetro cúbico de otro sólido o líquido a  $4^\circ \text{C}$  pesa 0.95 de

la misma unidad, entonces la densidad relativa de una sustancia es 0.95. al determinar la densidad relativa para los gases, la comparación se hace con aire o con hidrógeno.

**Peso Específico:** El peso específico ( $\gamma$ ) de un fluido se define como el cociente entre su peso y la unidad de volumen y representa la fuerza que ejerce la aceleración de la gravedad sobre la masa de un fluido por unidad de volumen:

$$\gamma = \frac{\text{fuerza de gravedad}}{\text{volumen}} = \frac{\text{peso}}{\text{volumen}} = \frac{W}{V}$$

Sus dimensiones son:  $[F^1 L^{-3}]$

Se puede relacionar la densidad con el peso específico utilizando la segunda ley de Newton:

$$W = mg, W/V = mg/V,$$

$$\text{Por lo tanto: } \gamma = \rho g$$

Esta es una propiedad conveniente cuando se trata con la estática del fluido o con líquidos con una superficie libre.

En unidades MKS, CGS y FPS se tiene respectivamente:

$$[F^1 L^{-3}]; [kg/m^3], [g/cm^3], [lb/pic^3]$$

- 4. Presión (Definición y unidades).** La fuerza que un fluido ejerce uniformemente en todas direcciones dentro de un recipiente, tubería, pozo, etc., tal como la que se ejerce contra la pared de un tanque o como la que se ejerce en el fondo de un pozo el fluido de perforación. La presión se expresa en términos de fuerza ejercida por unidad de área, como kilogramos por centímetros cuadrados, o libras por pulgadas cuadradas.

**FASE EXPERIMENTAL**

**MATERIAL Y EQUIPO.**

- Bentonita.
- Barita.
- Agua.
- Balanza de lodos.
- Densímetro.
- Dispersor.



Figura 3.3 Balanza para Lodos



Figura 3.4 Densímetro

**PROCEDIMIENTO.**

**Medición con Balanza de Lodos:**

- Colocar la balanza sobre una superficie plana.
- Calibrar la balanza llenando la copa de la balanza con agua, colocar la tapa y poner la pesa en la marca correspondiente a 1.00 [g/cc] del brazo de la balanza, teniendo cuidado de que la burbuja indicadora se encuentre en el centro del nivel de referencia.
- Para llevar la burbuja al centro del nivel, puede ser necesario poner o quitar balines a través del extremo del brazo de la balanza.

- d) Llenar con lodo la copa de la balanza, y poner la tapa para que el líquido se derrame por el orificio de la tapa para eliminar las burbujas.
- e) Limpiar completamente el exterior de la copa con una franela o trapo.
- f) Mover la pesa sobre el brazo hasta que la burbuja se encuentre en el centro del nivel.
- g) Tomar la medición en todas las escalas y expresar lo que cada una de ellas representa.

**Medición con Densímetro.**

- a) Saque el densímetro del cilindro y llénese con agua a una temperatura de 70 °F.
- b) Llene la copa hasta el tope con la muestra. Si el lodo trae burbujas de aire golpee la copa para desalojarlas.
- c) Ajuste la copa a la parte inferior del hidrómetro.
- d) Limpie de lodo el exterior de la copa.
- e) Tome la lectura al nivel de la superficie del agua.

**CUIDADO DEL INSTRUMENTO.**

**Balanza de Lodos:**

Limpie y seque cuidadosamente la balanza después de cada operación; para retirar todo el lodo que pueda afectar las mediciones.

**Densímetro:**

Limpie y seque el instrumento después de cada operación y posteriormente guarde el equipo en su estuche para evitar su deterioro.

**DIAGRAMAS DESCRIPTIVOS.**

Los alumnos deberán realizar los diagramas del equipo empleado y su utilización.

**RESULTADOS.**

**Balanza de Lodos:**

Reporte la densidad de la muestra(s) utilizada(s), en todas las escalas con que cuenta el aparato y explique las diferencias existentes entre cada una de ellas.

	Densidad Medida con la Balanza (Escala lb/gal)					
	Agua	Diesel	Lodo	Lodo	Lodo	Lodo
Equipo #						
Equipo #						
Equipo #						

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Densidad Medida con la Balanza (Escala Gradiente de Presión)						
	Agua	Diesel	Lodo	Lodo	Lodo	Lodo
Equipo #						
Equipo #						
Equipo #						

Densidad Medida con la Balanza (Escala lb/pie <sup>3</sup> )						
	Agua	Diesel	Lodo	Lodo	Lodo	Lodo
Equipo #						
Equipo #						
Equipo #						

Densidad Medida con la Balanza (Escala adimensional)						
	Agua	Diesel	Lodo	Lodo	Lodo	Lodo
Equipo #						
Equipo #						
Equipo #						

**Densímetro:**

Reporte la densidad en las unidades que maneje el densímetro y conviértalas a todas las escalas que trae la balanza de lodos.

Densidad Medida con el Densímetro						
	Agua	Diesel	Lodo	Lodo	Lodo	Lodo
Equipo #						
Equipo #						
Equipo #						

CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES.

BIBLIOGRAFÍA.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## PRÁCTICA # 4

### “Ecuación de Balance de Materia”

#### OBJETIVO.

Determinar la cantidad de materiales utilizados para fabricar un lodo mediante el uso de la ecuación de balance de materia.

#### INTRODUCCIÓN.

Los fluidos de perforación deben estar compuestos de materiales que les impartan condiciones aceptables de densidad, filtrado, viscosidad y propiedades tixotrópicas y de gel. La densidad de un lodo está determinada por los líquidos y sólidos que contiene; los químicos utilizados para el tratamiento del lodo, si son efectivos, deben utilizarse en pequeñas cantidades; por lo que no se consideran en los cálculos de balance de materia del lodo. Por esto, para realizar estos cálculos se utilizan unas ecuaciones simples que relacionen los parámetros necesarios para controlar la densidad del fluido de perforación.

Existen dos problemas generales de condiciones de lodo que deben considerarse. Primero, está el problema de añadir material a un lodo que ya está preparado. Esto surge de la necesidad de incrementar la densidad de un lodo por medio de la adición de material densificante o de disminuirla por medio de la adición de agua o aceite dependiendo de la fase continua del lodo con el que estemos trabajando. En estos casos se conoce el volumen original del fluido, al menos en forma aproximada, además de que se conocen tanto la densidad original como a la que se requiere llegar. La densidad del material que se va a agregar también se conoce pero la incógnita a calcular es la cantidad del material que debe añadirse.

El segundo caso se presenta al preparar un lodo en una presa o tanque de lodo, esto se puede presentar debido a la presencia de una pérdida de circulación en el pozo o cuando está en reparación y el fluido debe ser preparado antes de circularlo para controlar las

presiones. En estos casos, el volumen final requerido del fluido es conocido, así como la densidad que debe tener. Además también se conocen las cantidades de los materiales que deben mezclarse para fabricarlo, pero se deben calcular las cantidades del material densificante requerido para su elaboración. Por otro lado, es recomendable calcular la cantidad de agua que debe tenerse en la presa o tanque de lodos antes de empezar el mezclado, para que de esta manera el volumen final se alcance cuando se hayan añadido los materiales arcillosos.

Hay que recordar que todos los materiales presentes en un lodo de perforación contribuyen a su densidad; en el caso de los lodos base agua, los componentes principales son el agua (la cual generalmente es dulce), las arcillas (generalmente bentonita y barita), algunas partículas de lutita que se dispersan en el lodo así como los demás detritos que se desprenden de las formaciones al ser perforados.

El agua dulce tiene una densidad de 9.33 lb/gal, mientras que la arcilla bentonítica que se agrega al lodo tiene una gravedad específica de 2.5 y la barita tiene una gravedad específica de aproximadamente 4.3 lo que corresponde a una densidad de 35.8 lb/gal.

## CONOCIMIENTOS PREVIOS REQUERIDOS.

1. **Concepto de Ecuación.** Una ecuación es una igualdad que sólo es cierta para un valor determinado (o valores determinados) de la incógnita; es decir, una ecuación es una igualdad condicional.

2. **Densidad (Definición, Ecuaciones y Análisis dimensional).** La densidad de un fluido se define como su masa por unidad de volumen:

$$\rho = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}} = \frac{m}{V}$$

Mediante el límite hacia el cual tiende la densidad cuando el volumen considerado tiende a cero se define la densidad en un punto:

$$\rho = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta m}{\Delta V} = \frac{dm}{dV}$$

Las dimensiones de la densidad son:  $\rho [M^1 L^{-3}] = \rho [F^1 L^{-4} T^2]$

Y sus dimensiones en el sistema MKS, CGS y FPS son respectivamente:  $[kg/m^3]$ ,  $[g_m/cm^3]$ ,  $[lb_m/ptc^3]$ .

**3. Manejo de ecuaciones.** Bajo este concepto, se agrupan los conocimientos adquiridos en álgebra para resolver ecuaciones por diversos métodos como el de igualación, sustitución, determinantes; así como al manejo algebraico necesario para despejar las incógnitas sin alterar la equivalencia de la ecuación.

#### MATERIAL Y EQUIPO.

- Bentonita.
- Barita.
- Agua.
- Balanza de lodos.
- Calculadora.
- Equipo de Agitación (Dispensor)

#### PROCEDIMIENTO.

Existen tres ecuaciones fundamentales usadas para el cálculo de la densidad del lodo; las cuales son:

- Masa final de la mezcla = Masa del lodo original + Masa del material agregado.

$$M_f = M_{original} + M_{agregado}$$

- Volumen final de la mezcla = Volumen de lodo original + Volumen del material agregado.

$$V_f = V_{original} + V_{agregado}$$

- Densidad final de la mezcla = Peso final de la mezcla entre volumen final de la mezcla

$$\rho_f = \frac{\text{Masa total de la mezcla}}{\text{Volumen total de la mezcla}} = \frac{M}{V}$$

Para trabajar durante todo el semestre, se elaborarán cuatro fluidos de perforación de los cuales uno es el fluido base y los otros tres serán densificados según lo pida el profesor, se recomienda fabricar 2 litros de cada fluido, ya que esta cantidad alcanza para realizar todas las pruebas que se efectúan durante el semestre. Por esta razón uno de los equipos deberá fabricar dos fluidos, esta decisión deberá ser tomada por el profesor.

Una vez explicadas las ecuaciones, los alumnos harán el desarrollo algebraico correspondiente para despejar la masa de barita que debe ser agregada, que es la incógnita que define la densidad de nuestro lodo al final, y una vez obtenida esta procederán a elaborar los fluidos que les fueron requeridos.

### **DIAGRAMAS DESCRIPTIVOS.**

Los alumnos realizarán ilustraciones que resuman los pasos que siguieron durante la elaboración de los fluidos que les fueron asignados.

### **RESULTADOS.**

Una vez que los alumnos han fabricado sus lodos densificados, deberán llenar la siguiente tabla, con sus datos para su posterior discusión:

CAPÍTULO III

Equipo #	Volumen de Agua [ml]	Masa de Agua [gr]	Masa de bentonita [gr]	Densidad de la Bentonita [gr/cc]	Masa de Barita [gr]	Densidad de la Barita [gr/cc]	Densidad [gr/cc]	
							Solicitada	Alcanzada

**CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES.**

**BIBLIOGRAFÍA.**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

## PRÁCTICA # 5

### “Viscosidad Marsh”

#### OBJETIVO.

Determinar cualitativamente la viscosidad de un fluido mediante el uso del embudo Marsh.

#### INTRODUCCIÓN.

La viscosidad mide la resistencia interna de un líquido a fluir, ya que mientras mayor es la resistencia mayor será la viscosidad. La viscosidad se mide en poises y se define como la fuerza necesaria para deslizar dos capas de  $1 \text{ cm}^2$  de superficie que se encuentran separadas por un centímetro a la velocidad de  $1 \text{ cm}/\text{seg}$ .

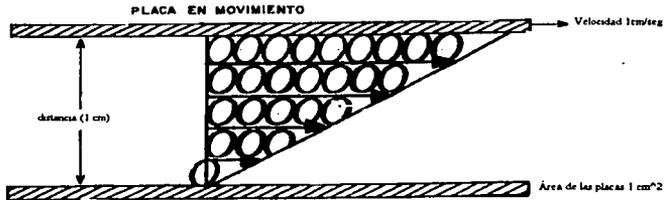


Figura 3.5 Análisis de fuerzas de la viscosidad

Esta fuerza es una fuerza tangencial y se expresa de la siguiente forma:

$$F = \mu \cdot \frac{dv}{dx} A$$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Las dimensiones de la viscosidad dinámica se obtienen analizando las fuerzas ejercidas sobre la capa de Área A, que se mueve sobre un líquido viscoso con una velocidad v, causado por la fuerza F.

$$\mu = \frac{\text{Fuerza cortante}}{\text{velocidad de deformación}} = \frac{\frac{F}{A}}{\frac{dv}{dl}} = \frac{\frac{ML^2}{T^2}}{\frac{L}{T}} = \frac{M}{LT}$$

Para que  $\mu$  sea igual a 1 poise.

M = gramos masa.

L = centímetros.

T = segundos.

$$1 \text{ poise} = \frac{\text{gramos - masa}}{\text{cm seg.}}$$

Para las operaciones de perforación la viscosidad depende del diámetro del agujero, de la presión de bombeo, de la velocidad de perforación, de la presencia o ausencia de separadores de recortes, del peso del lodo y de la Gelatinosidad.

Debe tenerse en cuenta que los lodos son líquidos tixotrópicos y que la viscosidad está influenciada por la Gelatinosidad y que los valores que dan los aparatos utilizados actualmente son relativos, ya que por ejemplo, la medida rutinaria en campo de la viscosidad se realiza con el Embudo Marsh.

La medida de viscosidad Marsh se usa como la medida de norma para los fluidos de perforación y es el tiempo en segundos que tarda en pasar un litro por el Embudo Marsh.

Éste fue el primer instrumento utilizado para medir la viscosidad del lodo; esta medición se realiza comparando el tiempo de escurrimiento del lodo con el del agua.

La viscosidad está en razón directa de la cantidad de arcilla presente; siendo esta relación afectada por:

- a) **Fuerza de repulsión:** Al ionizarse la bentonita, se produce una carga negativa que causa una repulsión mutua y tiende a reducir la fricción y evitar la floculación. Este efecto aislado, tendería a producir viscosidades más bajas en una bentonita sódica que en una cálcica de igual concentración.
- b) **Fuerza de atracción:** Las partículas de arcilla son hojas planas y delgadas, teóricamente pueden tener un largo y un grueso, ilimitados, sin embargo, estas hojas han sido rotas en secciones de pequeño tamaño. En las superficies de estas, frecuentemente hay valencias residuales que originalmente sirvieron para mantener juntas las hojas más grandes, pero fueron dejadas sin satisfacer desde el punto de vista químico. Son satisfechas en parte por la absorción de agua en la superficie pero siempre queda un remanente relativamente grande que atrae a otra partícula en posición tal que formará una continuación de la primera, saturará completamente las valencias residuales de ambas; por lo que, cuando la suspensión queda en reposo por un corto período de tiempo, las partículas tienden a arreglarse en un conglomerado definido y a resistir cualquier fuerza que trate de destruir ese agrupamiento. Este último efecto se debe a la gelatinización y se llama *tixotropía*, la cual es una palabra derivada del griego que significa cambio por agitación.

Las cualidades tixotrópicas de una arcilla dependen de las fuerzas de atracción y repulsión relativas que existen entre las partículas. Si las fuerzas de atracción debidas a las valencias residuales son mayores que las fuerzas de repulsión, el lodo tendría una alta velocidad de gelatinización y una fuerte gelatinosidad; por el contrario, si las fuerzas de repulsión son mayores que las de atracción, el lodo presentará una baja velocidad de gelatinización y una baja gelatinosidad.

Una suspensión que no presentase plasticidad tendría una velocidad de escurrimiento proporcional a la presión; pero una suspensión que puede gelatinizarse al estar en reposo, presenta propiedades plásticas; es decir, la masa empezará a fluir después de que se le aplique una cierta presión externa.

- c) **Reopexia:** Es el fenómeno relacionado con la tixotropía y consiste en un aumento en la velocidad de gelatinización provocada por una acción mecánica, como por ejemplo, el hacer girar el recipiente que contiene al fluido alrededor de un eje.

Dentro de la tubería de perforación, la rotación y el flujo laminar del lodo favorecen este fenómeno; por lo que la suspensión necesita entonces una mayor presión en las bombas para fluir generándose un gran inconveniente; pero si se logra que el flujo dentro de la tubería sea turbulento se puede evitar este fenómeno.

- d) **Floculación:** La floculación de una suspensión de arcilla es el proceso por el cual las partículas se atraen entre sí y forman agregados permanentes.

Este fenómeno puede darse de diversas maneras:

- ✓ Al reducir el potencial de la partículas en suspensión, lo que se logra agregando un electrolito de cationes polivalentes como el  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Al}^{+++}$ .
- ✓ Agregando un electrolito en exceso.
- ✓ Elevando la temperatura.

### CONOCIMIENTOS PREVIOS REQUERIDOS.

1. **Viscosidad (definición y unidades).** Medición de la resistencia de un fluido a fluir. La resistencia es provocada por la fricción interna que resulta de los

efectos combinados de cohesión y adhesión. La viscosidad de los derivados del petróleo se expresa comúnmente en función del tiempo requerido por un volumen específico de líquido para fluir a través de un orificio de tamaño también específico.

2. **Escurrimiento.** El escurrimiento es el hacer que una cosa que se encuentra mojada deje chorrear el líquido que la está mojando.
3. **Adherencia.** Manifestación especial de las fuerzas intermoleculares que hace que los sólidos o los líquidos se adhieran entre sí; generalmente se emplea refiriéndose a la adhesión entre dos materiales diferentes.
4. **Mojabilidad.** Es una propiedad de superficie en un sistema sólido-fluidos, que indica la afinidad entre los granos del sólido (roca) y cada fluido presente en los espacios entre éstos. Si el aceite y el agua están presentes, generalmente el agua está en contacto con la superficie de cada grano entonces se dice que la roca está mojada con agua. Sin embargo, si el aceite está en contacto con la superficie de los granos se dice que la roca está mojada con aceite. Esto se debe a que el líquido que tiene la más baja tensión interfacial con el sólido (más alta adhesión) será el líquido mojante.

Dado que las rocas de un yacimiento están formadas por empacamientos de fragmentos de pequeños minerales que dejan espacios aún más pequeños, no es posible determinar la mojabilidad por mediciones directas, además de ser un parámetro adimensional.

## **FASE EXPERIMENTAL**

### **MATERIAL Y EQUIPO.**

- Lodos de perforación bentonítico 1.03 [g/cc] y densificados.

- Diesel.
- Agua.
- Cronómetro.
- Embudo Marsh y jarra aforada.
- Equipos de agitación.

### DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.

- En la parte inferior, interiormente tiene un casquillo de bronce o latón con diámetro calibrado de 3/16 de pulgada x 2 pulgadas de longitud
- El diámetro de la parte superior es de 6 pulgadas, y su longitud total es de 12 pulgadas.
- Cubriendo la mitad de la boca y fija a ¼ de pulgada del borde, tiene una malla 12 (es decir malla con abertura de 1/16 de pulgada).
- Su capacidad, hasta el ras de la malla, es de 1,500 cm<sup>3</sup> ó 1.5 litros.
- El complemento del embudo es una jarra, la cual tiene grabadas en su interior dos escalas de lecturas; una con capacidad de 1,000 cm<sup>3</sup> (1 litro) y la otra con capacidad de 32 onzas.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

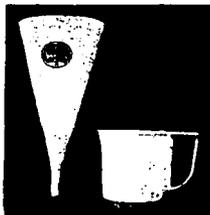


Figura 3.6 Embudo Marsh y jarra aforada

### PROCEDIMIENTO.

- a. Sostener el embudo en posición vertical, poniendo el dedo índice en el tubo de salida.

- b. Agregar lodo pasándolo por la malla y en cantidad tal que llegue precisamente hasta la malla.
- c. Con la jarra graduada bajo el embudo y a una distancia aproximada de 4 pulgadas entre la jarra y el embudo cuidando de que se vean las escalas, retire el dedo del orificio.
- d. Al comenzar a escurrir el lodo tómesese el tiempo en segundos, hasta que éste haya llegado a la marca de un litro (1000 cm<sup>3</sup>).
- e. Reporte en segundos el tiempo que tarda en escurrir un litro de fluido; está será la medida de su viscosidad en segundos Marsh.

Para transformar los segundos Marsh en viscosidades absolutas, se puede aplicar la siguiente ecuación experimental:

$$\text{Viscosidad absoluta (cps)} = \rho \left( 0.58T - \frac{461}{T} \right)$$

Donde :

$\rho$  : Densidad del fluido de prueba

T : Tiempo en segundos

Sin embargo, cabe recalcar que esta fórmula es eficiente cuando los valores de la gelatinosidades son cercanos a cero o para lodos que se acercan más a los líquidos viscosos o cuya tixotropía es baja.

#### **CUIDADO DEL INSTRUMENTO.**

Limpie y seque el embudo y la taza después de cada operación, teniendo mucho cuidado de que el tubo de salida del embudo no sufra aplastamientos.

**DIAGRAMAS DESCRIPTIVOS.**

Los alumnos deberán realizar los diagramas correspondientes al equipo empleado y a la realización del experimento.

**RESULTADOS.**

Pueden tomarse las siguientes mediciones en segundos; recordando que la capacidad del embudo es de 1500 cm<sup>3</sup>.

- 1500/946 c.c. = 26 segundos.
- 1500/1000 c.c. = 28 segundos.
- 500/500 c.c. = 19 segundos.
- 500/250 c.c. = 8 segundos.

*"Estos valores corresponden a agua medida a 70°F"*

Posteriormente los alumnos llenarán la siguiente tabla de resultados, para su posterior análisis.

Tiempo De Escorrimento en Segundos						
Fluido Equipo	Agua	Diesel	Lodo 1	Lodo 2	Lodo 3	Lodo 4
Equipo 1						
Equipo 2						
Equipo 3						

**CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES.****BIBLIOGRAFÍA.**

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## PRÁCTICA # 6

### “Viscosímetro rotacional FANN-35”

#### OBJETIVO.

Determinar los parámetros reológicos y tixotrópicos de un lodo de perforación mediante el uso del viscosímetro viscosidad modelo FANN-35.

#### INTRODUCCIÓN.

La medición de las propiedades reológicas de un lodo es importante en el cálculo de las pérdidas de presión por fricción, de la capacidad del lodo para levantar los recortes y desprenderse de ellos en la superficie, para analizar la contaminación del fluido debido a la incorporación de sólidos, sustancias químicas y por la acción de la temperatura; así como para determinar los cambios de presión en el interior del pozo durante la realización de un viaje.

El viscosímetro rotacional es un aparato que consta de dos cilindros coaxiales, en donde uno de los cilindros es fijo o estacionario, en tanto que el otro cilindro gira con una velocidad angular determinada.

Este tipo de viscosímetro da lugar a que una muestra de fluido de perforación, colocada en el espacio anular entre los dos cilindros, sea sujeta a la acción del corte, en tanto que el esfuerzo es medido como una función del torque impuesto sobre el cilindro estacionario.



Figura 3.7 Funcionamiento del viscosímetro rotacional

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

La velocidad de corte en un viscosímetro rotacional es determinada en base a la velocidad de rotación del cilindro móvil y a la geometría del sistema; en tanto que, el esfuerzo cortante, está determinado como una función del torque medido.

La relación entre el esfuerzo cortante y la velocidad de corte, es la misma, esto es, que siempre tienen la misma relación funcional.

Bajo estas condiciones, se puede decir que el fluido es "cortado" entre dos cilindros coaxiales verticales, largos relativamente con respecto al espacio anular entre ellos, donde las determinaciones se pueden realizar de tal forma que se tenga siempre la relación entre la velocidad de corte y el esfuerzo cortante, sin interesar cual de los dos cilindros sea el que gire o cual esté inmóvil.

Para la determinación de estas propiedades reológicas y tixotrópicas se emplea tanto en el campo como en el laboratorio, un viscosímetro electrónico rotatorio de lectura directa y de cilindros concéntricos; siendo la unidad práctica para el campo el viscosímetro FANN VG, Modelo 35 de 6 velocidades y 115 volts.

### CONOCIMIENTOS PREVIOS REQUERIDOS.

1. **Viscosidad plástica.** Es la resistencia a fluir causada en primer lugar por la fricción de las partículas en el lodo y la viscosidad de la fase continua. Por lo tanto en lodos base agua la viscosidad plástica dependerá en gran parte del tamaño, forma y concentración de los sólidos suspendidos. En los lodos base aceite, la viscosidad plástica podrá deberse en gran parte a la viscosidad de la fase aceite, aunque a medida que la concentración de los sólidos aumenta, estos aumentarán la viscosidad plástica.
2. **Viscosidad Aparente.** Se ve afectada por el tratamiento químico y por los contaminantes del lodo que afecten el punto de cedencia.

3. **Punto de cedencia.** Es la resistencia a fluir causada por las fuerzas de atracción entre las partículas. Estas fuerzas especialmente en lodos base agua, pueden aumentar o disminuir por tratamiento químico.
  
4. **Reología** Es la rama de la Física que trata sobre la Mecánica de los cuerpos deformables; y estudia la relación existente entre el esfuerzo cortante y la velocidad de corte, ya que de ésta dependen todas las propiedades de flujo.

La mayoría de las teorías sobre reología tratan con casos idealizados, basados en ecuaciones diferenciales de primer orden y sobre el concepto de que las constantes en esas ecuaciones, no varían con los cambios de las variables involucradas. Sin embargo, existen diversas variaciones con respecto a lo ideal, que han sido desarrolladas matemáticamente, y al parecer estos sistemas llamados "anómalos" son más comunes que los ideales.

5. **Tixotropía.** Es el fenómeno exhibido por la gelatinosidad al hacerse fluido con el movimiento; como resultado de las fuerzas de interacción de los sólidos de bajas velocidades de corte que provocan la gelación del lodo.
  
6. **Esfuerzo gel.** Es la medida de la fuerza de atracción entre el fluido de perforación en condiciones estáticas.
  
7. **Clasificación de los fluidos por su viscosidad.** De acuerdo con la variación del valor de esfuerzo de corte al variar la velocidad de corte, se han establecido cuatro tipos o modelos ideales de fluidos; que son:

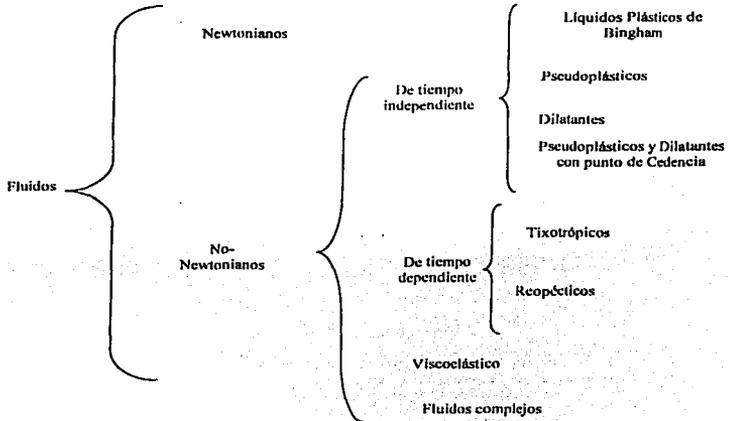


Figura 3.8 Clasificación de los fluidos por su viscosidad

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

## FLUIDOS NEWTONIANOS

Los líquidos Newtonianos o de “viscosidad aparente” son llamados así porque obedecen al concepto de viscosidad de Newton, y algunas veces se refieren a líquidos verdaderos, la viscosidad aparente de un líquido plástico es la que se determina a una velocidad de corte, suponiendo que ese valor corresponde a la lectura de un líquido verdadero, o sea, que la viscosidad aparente está dada por la pendiente de la recta que va del origen al punto determinado por los valores de esfuerzo de corte y de velocidad de corte. Al determinar la viscosidad aparente a diferentes velocidades de corte, se obtienen diferentes valores de ella en el mismo líquido plástico; por lo que esta viscosidad no es muy útil para el control de los lodos de perforación. Como ejemplo de líquidos con viscosidad aparente tenemos al agua, glicerina, aceite para motor, querósina y líquidos

cuya viscosidad es similar, en algunas temperaturas y presiones dadas.

## FLUIDOS NO-NEWTONIANOS

Los No-Newtonianos son aquellos cuya viscosidad no es constante en una determinada presión y temperatura, pero depende del flujo ya que en la región de flujo laminar la viscosidad permanece constante y se le denomina viscosidad plástica. El valor de ésta viscosidad disminuye nuevamente en la región de transición de flujo laminar a flujo turbulento. En la región de flujo turbulento estos líquidos plásticos se comportan en forma similar a los "verdaderos", es decir, el esfuerzo de corte es directamente proporcional a la velocidad de corte. Ejemplo de estos líquidos, son las suspensiones coloidales, lechadas de cemento y lodos de perforación.

## FLUIDOS DEPENDIENTES DEL TIEMPO

Son aquellos cuyo valor de corte y esfuerzo de corte no cambian con el tiempo.

### Plásticos de Bingham

Es un caso de los fluidos no-Newtonianos, pues con la finalidad de iniciar su movimiento, se requiere vencer un esfuerzo de corte inicial finito, una vez que dicho esfuerzo ha sido excedido, éstos fluidos muestran una relación lineal entre el esfuerzo de corte y la velocidad de corte. Ese valor mínimo inicial del esfuerzo cortante se denomina *Punto de Cedencia*, que es un pseudonúmero obtenido

de acuerdo al Modelo de Bingham, en donde, al usarse determinado cálculo, involucra un error conocido.

Aquí la viscosidad plástica es una medida del espesamiento del lodo y depende del contenido de sólidos, de su tamaño y de la temperatura.

Esta relación para el fluido de Bingham se puede expresar en la ecuación:

$$\tau = \tau_y + \left( \frac{\mu_p}{gc} * \Gamma \right)$$

### Pseudoplásticos.

Es otro caso de los fluidos no-Newtonianos, y son aquellos para los cuales un esfuerzo cortante infinitesimal iniciará su movimiento y para el cual, el ritmo en el incremento en esfuerzo cortante con la velocidad de corte, decrece a medida que la velocidad de corte se incrementa.

### Dilatantes

En estos fluidos, a diferencia de los pseudoplásticos, el ritmo de incremento del esfuerzo cortante con la velocidad de corte aumenta cuando la velocidad de corte se incrementa.

Los fluidos dilatantes y pseudoplásticos, son similares matemáticamente, por consiguiente, se aplican las mismas ecuaciones empíricas, con los valores de ciertas constantes reológicas apropiadas diferentes.

· Al graficar los puntos que representan el comportamiento de los fluidos pseudoplásticos y dilatantes en papel con ambas escalas logarítmicas, se obtiene una línea recta.

#### **Pseudoplásticos y Dilatantes con Punto de Cedencia**

Estos fluidos presentan un esfuerzo de corte inicial finito (punto de cedencia) similar al acaso de las Plásticos de Bingham, pero la relación del esfuerzo cortante, con la velocidad de corte resultante no es lineal.

Esto es, una vez que el esfuerzo de cedencia ha sido excedido, su comportamiento es similar al de los fluidos pseudoplásticos y dilatantes.

#### **FLUIDOS DEPENDIENTES DEL TIEMPO**

Es otro de los fluidos no-Newtonianos y se caracteriza porque sus propiedades reológicas cambian con la duración del esfuerzo cortante y la velocidad de corte dentro de ciertos límites, esto es, que dependen del tiempo de reposo.

#### **Tixotrópicos**

Estos fluidos muestran el fenómeno de que los geles que los componen, se hacen fluidos con el movimiento, haciéndose reversible este cambio, esto es, que aumenta su resistencia al esfuerzo cortante (gelatinosidad) mientras se encuentra en reposo, pero cuando se someten a velocidades de corte constantes, la gelatinosidad se rompe y su curva se asemeja a la de los fluidos

pseudoplásticos; como ejemplo se puede mencionar a las mayonesas, las pinturas, los lodos de perforación, etc.

### Reopéticos

También es otro de los fluidos no-Newtonianos, que, a diferencia de los tixotrópicos, el esfuerzo de corte se incrementa con la duración del tiempo de corte y también a una velocidad de corte

### FLUIDOS VISCOELÁSTICOS

Son aquellos fluidos que recobran su forma original después de cierta deformación a la que han sido sometidos, cuando deja de actuar el esfuerzo cortante.

Tienen características intermedias entre los sólidos puramente elásticos y los fluidos puramente viscosos, especialmente la característica de deformación bajo la acción de un esfuerzo cortante y de retomar a su forma original sin deformación, cuando cesa la acción de dicho esfuerzo.

Por ejemplo, los polímeros viscoelásticos usados en los fluidos de perforación, tienden a producir elongaciones cuando están sujetos a altos valores de velocidad de corte y a regresar a su condición inicial cuando dichos valores descienden a su nivel normal.

## FLUIDOS DE PERFORACIÓN

Según la definición del API (American Petroleum Institute), un fluido de perforación es: *"un fluido circulante, usado en la perforación rotatoria para ejecutar todas las operaciones de perforación requeridas."*

Estos fluidos son por lo general suspensiones de sólidos en líquidos, los cuales presentan características de flujo bastante complejas, pues no siguen rigurosamente algún comportamiento reológico.

Las condiciones de flujo, tales como las diferentes velocidades de corte son encontradas en los pozos petroleros, así como la presión y temperatura, tienden a agravar el entendimiento de las propiedades de flujo de éstos fluidos.

Los lodos de perforación pueden ser estudiados como fluidos no-Newtonianos e independientes del tiempo, esto es, como plásticos de Bingham y pseudoplásticos con y sin punto de cedencia.

## FASE EXPERIMENTAL

### MATERIAL Y EQUIPO.

- Lodos de perforación bentonítico 1.03 [g/cc], y densificados.
- Cronómetro.
- Dispensor.
- Viscosímetro rotacional modelo FANN-35.

### DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.

Las seis velocidades de este instrumento; para las que pueden realizarse lecturas son 3, 6, 100, 200, 300 y 600 r.p.m. del rotor. Las lecturas de 600 y 300 r.p.m. se utilizan para calcular la VISCOSIDAD PLÁSTICA, en centipoises, el PUNTO DE CEDENCIA (yield point) que es el esfuerzo mínimo de deformación permanente en libras/ 100 pies<sup>2</sup> y la VISCOSIDAD APARENTE en centipoises.

La viscosidad plástica y el yield point no pueden calcularse con ningún otro aparato; además de que el viscosímetro FANN es eléctrico y puede operar a dos voltajes (6 y 12) para corriente alterna o directa.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

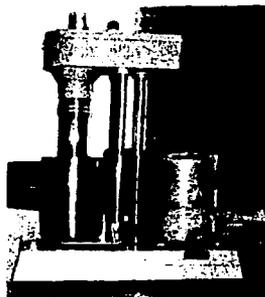


Figura 3.9 Viscosímetro rotacional FANN-35

### Modelos reológicos

Los modelos reológicos ayudan a predecir el comportamiento de los fluidos sobre una amplia escala de velocidades de corte. La mayoría de los fluidos de perforación son fluidos pseudoplásticos no newtonianos.

Los más importantes modelos reológicos aplicables a ellos son:

- Modelo de Bingham
- Modelo de la ley de la potencia
- Modelo de Herschel-Bulkley (punto cedente-ley de la potencia [MHB])

La Figura 3.10 ilustra los perfiles reológicos típicos para fluidos plásticos tipo Bingham, fluidos de ley de la potencia, y fluidos newtonianos. Se incluye también un perfil reológico típico de fluido de perforación para demostrar que estos modelos reológicos no caracterizan muy bien a los fluidos de perforación no newtonianos. El modelo de Herschel-Bulkley (punto cedente-ley de la potencia [MHB]) es el modelo más exacto para predecir el comportamiento reológico de los fluidos de perforación comunes.

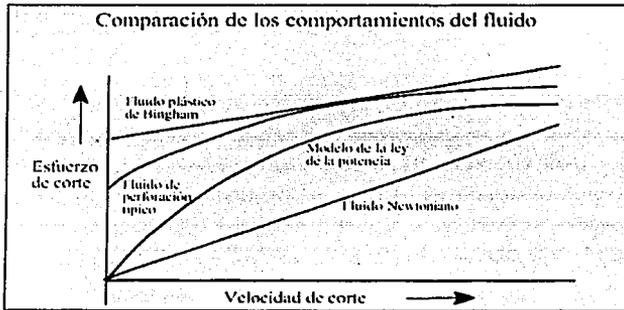


Figura 3.10 Perfiles reológicos más comunes

### Modelo de Bingham

El modelo de Bingham describe el flujo laminar por medio de la ecuación siguiente:

$$J = PC + (VP \times \gamma)$$

Donde:

$\tau$  es el esfuerzo de corte medido en lb/100 pies<sup>2</sup>

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

PC es el punto cedente en lb/100 pies<sup>2</sup>

VP es la viscosidad plástica en centipoises

y es la velocidad de corte en seg<sup>-1</sup>

Las normas corrientes de API requieren que el cálculo de PC y VP se haga usando las ecuaciones siguientes:

$$VP = 0600 - 0300$$

$$PC = 0300 - VP, \text{ o}$$

$$PC = (2 \times 0300) - 0600$$

Debido a que el modelo asume comportamiento verdaderamente plástico, el índice de flujo de un fluido que concuerde con este modelo debe tener  $n = 1$ .

Lamentablemente, no es frecuente que esto ocurra y el modelo por lo común predice en exceso los esfuerzos de punto cedente (esfuerzo de corte a una velocidad de corte cero) en un 40 a 90 por ciento. Un método rápido y fácil para calcular esfuerzos de punto cedente más realistas consiste en suponer que el fluido muestra comportamiento verdaderamente plástico únicamente en la escala de bajo índice de cizallamiento. Se puede calcular un punto cedente de baja velocidad de corte (LSR PC) usando la siguiente ecuación:

$$LSR \text{ PC} = (2 \times 03) - 06$$

Este cálculo produce un valor del esfuerzo de punto cedente próximo al que producen otros modelos más complicados y se puede usar cuando el requerido algoritmo de computadora no esté disponible.

#### **Modelo de la ley de la potencia**

El modelo de la ley de potencia describe el comportamiento reológico del fluido usando la siguiente ecuación:

$$\tau = K \times \gamma^n$$

Este modelo describe el comportamiento reológico de fluidos de perforación base polímero que no presentan esfuerzo de punto cedente (p.ej., salmueras claras viscosificadas). Algunos fluidos viscosificados con biopolímeros se pueden describir también por comportamiento de la ley de la potencia.

Las ecuaciones generales para calcular el índice de flujo y el índice de consistencia de un fluido son:

$$n = \frac{\log\left(\frac{\tau_2}{\tau_1}\right)}{\log\left(\frac{\gamma_2}{\gamma_1}\right)}$$
$$K = \frac{\tau_2}{\gamma_2^n}$$

Donde:

$\tau$  es el esfuerzo de corte calculado en lb/100 pies<sup>2</sup>

$\tau_2$  es el esfuerzo de corte a una velocidad de corte más alta

$\tau_1$  es el esfuerzo de corte a una velocidad de corte más baja

$n$  es el índice de flujo

$\gamma$  es la velocidad de corte en seg<sup>-1</sup>.

$\gamma_2$  es la velocidad de corte más alta

$\gamma_1$  es la velocidad de corte más baja

Ejemplo

Usando los esfuerzos de corte medidos a velocidades de corte iguales a 0600 y 0300, las ecuaciones generales resultan:

$K$  es el índice de consistencia

$$n = \frac{\log \frac{0600}{0300}}{\log \frac{600}{300}}$$

ó:

$$n = 3.32 \times \log \left[ \frac{0600}{0300} \right]$$

$$K = \frac{511 \times 0300}{511^n} \text{ (eneqc}^n) \text{ o } K = \frac{511 \times 0600}{1022^n}$$

*Nota: El modelo de la ley de potencia puede producir valores de n y K que difieren mucho. Los resultados dependen de los pares de datos para esfuerzo y velocidad de corte usados en los cálculos.*

#### Modelo de Herschel-Bulkley (punto cedente-ley de la potencia modificada [MHB])

Debido a que la mayoría de los fluidos de perforación presentan esfuerzo cortante, el modelo de Herschel-Bulkley (punto cedente-ley de la potencia modificada [MHB]) describe el comportamiento reológico de los lodos de perforación con mayor exactitud que ningún otro modelo. El modelo MHB usa la siguiente ecuación para describir el comportamiento de un fluido:

$$\tau = \tau_0 + (K \times \gamma^n)$$

Donde:

$\tau$  es el esfuerzo de corte medido en lb/100 pies<sup>2</sup>

$\tau_0$  es el esfuerzo de punto cedente del fluido (esfuerzo de corte a velocidad de corte cero) en lb/100 pies<sup>2</sup>

K es el índice de consistencia del fluido en cp ó lb/100 pies<sup>2</sup> seg<sup>n</sup>

n es el índice de flujo del fluido

$\gamma$  es la velocidad de corte en seg<sup>-1</sup>

Los valores de  $K$  y  $n$  en el modelo MHB son calculados de manera diferente que sus contrapartes en el modelo de la ley de la potencia. El modelo MHB se reduce al modelo de Bingham cuando  $n = 1$  y se reduce al modelo de la ley de la potencia cuando  $J = 0$ . Una ventaja evidente que tiene el modelo MHB sobre el modelo de la ley de la potencia es que, de un conjunto de datos medidos, se calcula un solo valor para  $n$  y un solo valor para  $K$ .

*Nota: El modelo MHB requiere:*

- *Un algoritmo de computadora para obtener soluciones.*
- *Un mínimo de tres mediciones de esfuerzo cortante e índice de cizallamiento para la solución.*

La precisión del modelo es mayor cuando se introducen más datos adicionales.

#### **PROCEDIMIENTO.**

- a) Deposite lodo recientemente agitado en la taza o envase que dispone el aparato. Póngalo bajo el aparato y sumerja el rotor hasta la marca. Arranque el motor con la velocidad de 600 r.p.m.
- b) Con el rotor a la velocidad de 600 r.p.m. observe el indicador. Cuando la lectura permanezca constante, debe tomarse ese valor como el representativo de la velocidad correspondiente.
- c) Cambie las velocidades a 300, 200, 100, 6 y 3 r.p.m. anotando el valor representativo de cada una de ellas.
- d) Detenga el rotor cuando la velocidad esté en 3 r.p.m. y deje reposar el lodo durante 10 segundos.
- e) Encienda el aparato a 3 r.p.m. y anote el valor de la máxima deflexión de la aguja indicadora.

- f) Apague nuevamente el aparato, sin cambiar la velocidad, y deje reposar al lodo durante 10 min.
- g) Encienda el aparato a 3 r.p.m. y anote el valor de la máxima deflexión de la aguja.

**NOTA: Las velocidades sólo se pueden cambiar con el motor funcionando.**

#### **CUIDADO DEL INSTRUMENTO.**

Limpiar el aparato con el rotor trabajando a 600 r.p.m. sumergido en agua limpia o un solvente apropiado si se han hecho análisis a lodos base aceite.

#### **DIAGRAMAS DESCRIPTIVOS.**

El alumno deberá realizar los diagramas del equipo explicando sus partes.

#### **RESULTADOS.**

	Equipo	L600	L300	L200	L100	L6	L3	L3 <sub>10s</sub>	L3 <sub>10m</sub>
Fluido 1	1								
	2								
	3								
Fluido 2	1								
	2								
	3								
Fluido 3	1								
	2								
	3								
Fluido 4	1								
	2								
	3								

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Una vez completada la tabla se deben reportar los siguientes valores de viscosidad y comportamiento reológico para cada uno de las muestras de lodos utilizadas, a través de las siguientes fórmulas:

- a. Viscosidad Plástica = Lectura a 600 r.p.m. – Lectura a 300 r.p.m.
- b. Punto de Cedencia en lb/100 pies<sup>2</sup> = Lectura a 300 r.p.m. – Viscosidad plástica
- c. Viscosidad Aparente =  $\frac{\text{Lectura a 600 r.p.m.}}{2}$
- d. Esfuerzo Gel =  $\frac{\text{Lectura a 3 r.p.m. a 10 segundos}}{\text{Lectura a 3 r.p.m. a 10 minutos}}$
- e. Graficar la velocidad de corte vs. las lecturas del viscosímetro para determinar el comportamiento que sigue cada lodo.
- f. Una vez realizada la gráfica, ajustar alguno de los modelos reológicos existentes.

#### **CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES.**

#### **BIBLIOGRAFÍA.**

## PRÁCTICA # 7

### “Uso de la Retorta”

#### OBJETIVO.

Determinar la cantidad de fase sólida y líquida presente en un lodo de perforación mediante el uso de la retorta.

#### INTRODUCCIÓN.

El conocimiento de los sólidos y líquidos (por peso o por volumen) presentes en un lodo de perforación es esencial para el buen control de las propiedades del lodo; ya que esta información a menudo explica si es necesario la adición de agua o reactivos, así como el contenido exacto de aceite emulsionado, lo cual permitirá un mejor control en cuanto a los agentes emulsificantes o el porcentaje de aceite necesario para controlar esta situación.

Para lodos que solamente contienen agua y sólidos, las cantidades de los mismos pueden obtenerse simplemente por evaporación. Cuando se necesita saber también la cantidad de aceite en un lodo, este dato sólo puede obtenerse por medio de la destilación de una cantidad medida de lodo y posteriormente condensando los vapores para medir sus volúmenes posteriormente; esto puede ser debido a que observaciones realizadas en el campo indican que la adición de aceite, en fluidos base agua, tiende por lo general a incrementar las velocidades de penetración, especialmente en formaciones con altos contenidos de arcillas hidratables; además por las características de lubricación del aceite se reduce la tendencia al embolamiento, ya que se evita que los recortes se adhieran a los dientes de la barrena. Sin embargo, cuando el contenido de aceite se incrementa más allá del 20% en volumen, se reduce la velocidad de penetración debido al incremento de la viscosidad del fluido.

## **CONOCIMIENTOS PREVIOS REQUERIDOS**

- 1. Destilación.** Proceso que consiste en calentar un líquido hasta que sus componentes más volátiles pasan a la fase de vapor y, a continuación, enfriar el vapor para recuperar dichos componentes en forma líquida por medio de la condensación. El objetivo principal de la destilación es separar una mezcla de varios componentes aprovechando sus distintas volatilidades, o bien separar los materiales volátiles de los no volátiles. En la evaporación y en el secado, normalmente el objetivo es obtener el componente menos volátil; el componente más volátil, casi siempre agua, se desecha. Sin embargo, la finalidad principal de la destilación es obtener el componente más volátil en forma pura. Por ejemplo, la eliminación del agua de la glicerina evaporando el agua, se llama evaporación, pero la eliminación del agua del alcohol evaporando el alcohol se llama destilación, aunque se usan mecanismos similares en ambos casos.

Si la diferencia en volatilidad (y por tanto en punto de ebullición) entre los dos componentes es grande, puede realizarse fácilmente la separación completa en una destilación individual. El agua del mar, por ejemplo, que contiene un 4% de sólidos disueltos (principalmente sal común), se puede purificar con facilidad evaporando el agua, y condensando después el vapor para recoger el producto: agua destilada. Para la mayoría de los propósitos, este producto es equivalente al agua pura, aunque en realidad contiene algunas impurezas en forma de gases disueltos, siendo la más importante el dióxido de carbono.

Si los puntos de ebullición de los componentes de una mezcla sólo difieren ligeramente, no se puede conseguir la separación total en una destilación individual. Un ejemplo importante es la separación de agua, que hierve a 100 °C, y alcohol, que hierve a 78.5 °C. Si se hierve una mezcla de estos dos líquidos, el vapor que sale es más rico en alcohol y más pobre en

agua que el líquido del que procede, pero no es alcohol puro. Con el fin de concentrar una disolución que contenga un 10% de alcohol (como la que puede obtenerse por fermentación) para conseguir una disolución que contenga un 50% de alcohol (frecuente en el whisky), el destilado ha de volver a destilarse una o dos veces más, y si se desea alcohol industrial (95%) son necesarias varias destilaciones.

**TEORÍA DE LA DESTILACIÓN** En la mezcla simple de dos líquidos solubles entre sí, la volatilidad de cada uno es perturbada por la presencia del otro. En este caso, el punto de ebullición de una mezcla al 50%, por ejemplo, estaría a mitad de camino entre los puntos de ebullición de las sustancias puras, y el grado de separación producido por una destilación individual dependería solamente de la presión de vapor, o volatilidad de los componentes separados a esa temperatura. Esta sencilla relación fue enunciada por vez primera por el químico francés François Marie Raoult (1830-1901) y se llama ley de Raoult. Sólo se aplica a mezclas de líquidos muy similares en su estructura química, como el benceno y el tolueno. En la mayoría de los casos se producen amplias desviaciones de esta ley. Si un componente sólo es ligeramente soluble en el otro, su volatilidad aumenta anormalmente. En el ejemplo anterior, la volatilidad del alcohol en disolución acuosa diluida es varias veces mayor que la predicha por la ley de Raoult. En disoluciones de alcohol muy concentradas, la desviación es aún mayor: la destilación de alcohol de 99% produce un vapor de menos de 99% de alcohol. Por esta razón el alcohol no puede ser concentrado por destilación más de un 97%, aunque se realice un número infinito de destilaciones.

**APARATO DE DESTILACIÓN** Técnicamente el término alambique se aplica al recipiente en el que se hierven los líquidos durante la destilación, pero a veces se aplica a todo el aparato, incluyendo la columna fraccionadora, el condensador y el receptor en el que se recoge el destilado.

Este término se extiende también a los aparatos de destilación destructiva o craqueo. Los alambiques de laboratorio están hechos normalmente de vidrio, pero los industriales suelen ser de hierro o acero. En los casos en los que el hierro podría contaminar el producto se usa a menudo el cobre, y los alambiques pequeños para la destilación de whisky están hechos por lo general de vidrio y cobre. A veces también se usa el término retorta para designar a los alambiques.

**DESTILACIÓN FRACCIONADA** En el ejemplo anterior, si se consigue que una parte del destilado vuelva del condensador y gotee por una larga columna a una serie de placas, y que al mismo tiempo el vapor que se dirige al condensador burbujee en el líquido de esas placas, el vapor y el líquido interaccionarán de forma que parte del agua del vapor se condensará y parte del alcohol del líquido se evaporará. Así pues, la interacción en cada placa es equivalente a una redestilación, y construyendo una columna con el suficiente número de placas, se puede obtener alcohol de 95% en una única operación. Además, introduciendo gradualmente la disolución original de 10% de alcohol en un punto en mitad de la columna, se podrá extraer prácticamente todo el alcohol del agua mientras desciende hasta la placa inferior, de forma que no se desperdicie nada de alcohol.

Este proceso, conocido como rectificación o destilación fraccionada, se utiliza mucho en la industria, no sólo para mezclas simples de dos componentes (como alcohol y agua en los productos de fermentación, u oxígeno y nitrógeno en el aire líquido), sino también para mezclas más complejas como las que se encuentran en el alquitrán de hulla y en el petróleo. La columna fraccionadora que se usa con más frecuencia es la llamada torre de burbujeo, en la que las placas están dispuestas horizontalmente, separadas unos centímetros, y los vapores ascendentes suben por unas cápsulas de burbujeo a cada placa, donde burbujan a través del líquido. Las placas están escalonadas de forma que el líquido fluye de

izquierda a derecha en una placa, luego cae a la placa de abajo y allí fluye de derecha a izquierda. La interacción entre el líquido y el vapor puede ser incompleta debido a que se puede producir espuma y arrastre de forma que parte del líquido sea transportado por el vapor a la placa superior. En este caso, pueden ser necesarias cinco placas para hacer el trabajo de cuatro placas teóricas, que realizan cuatro destilaciones. Un equivalente barato de la torre de burbujeo es la llamada columna apilada, en la que el líquido fluye hacia abajo sobre una pila de anillos de barro o trocitos de tuberías de vidrio.

La única desventaja de la destilación fraccionada es que gran parte (más o menos la mitad) del destilado condensado debe volver a la parte superior de la torre y eventualmente debe hervirse otra vez, con lo cual hay que suministrar más calor. Por otra parte, el funcionamiento continuo permite grandes ahorros de calor, ya que el destilado que sale puede ser utilizado para precalentar el material que entra.

Cuando la mezcla está formada por varios componentes, éstos se extraen en distintos puntos a lo largo de la torre. Las torres de destilación industrial para petróleo tienen a menudo 100 placas, con al menos diez fracciones diferentes que son extraídas en los puntos adecuados. Se han utilizado torres de más de 500 placas para separar isótopos por destilación.

**DESTILACIÓN POR VAPOR** Si dos líquidos insolubles se calientan, ninguno de los dos es afectado por la presencia del otro (mientras se les remueva para que el líquido más ligero no forme una capa impenetrable sobre el más pesado) y se evaporan en un grado determinado solamente por su propia volatilidad. Por lo tanto, dicha mezcla siempre hierve a una temperatura menor que la de cada componente por separado. El porcentaje de cada componente en el vapor sólo depende de su presión de vapor a esa temperatura. Este principio se puede aplicar a sustancias que podrían verse perjudicadas por el exceso de calor si fueran destiladas en la forma habitual.

**DESTILACIÓN AL VACÍO** Otro método para destilar sustancias a temperaturas por debajo de su punto normal de ebullición es hacer el vacío parcial en el alambique. Por ejemplo, la anilina puede ser destilada a 100 °C extrayendo el 93% del aire del alambique. Este método es tan efectivo como la destilación por vapor, pero más caro. Cuanto mayor es el grado de vacío, menor es la temperatura de destilación. Si la destilación se efectúa en un vacío prácticamente perfecto, el proceso se llama destilación molecular. Este proceso se usa normalmente en la industria para purificar vitaminas y otros productos inestables. Se coloca la sustancia en una placa dentro de un espacio en el que se ha hecho el vacío y se calienta. El condensador es una placa fría, colocada tan cerca de la primera como sea posible. La mayor parte del material pasa por el espacio entre las dos placas, y por lo tanto se pierde muy poco.

**DESTILACIÓN MOLECULAR CENTRÍFUGA** Si una columna larga que contiene una mezcla de gases se cierra herméticamente y se coloca en posición vertical, se produce una separación parcial de los gases como resultado de la gravedad. En una centrifugadora de alta velocidad, o en un instrumento llamado vórtice, las fuerzas que separan los componentes más ligeros de los más pesados son miles de veces mayores que las de la gravedad, haciendo la separación más eficaz. Por ejemplo, la separación del hexafluoruro de uranio gaseoso,  $UF_6$ , en moléculas que contienen dos isótopos diferentes del uranio, uranio 235 y uranio 238, puede ser llevada a cabo por medio de la destilación molecular centrífuga.

**SUBLIMACIÓN** Si se destila una sustancia sólida, pasándola directamente a la fase de vapor y otra vez a la fase sólida sin que se forme un líquido en ningún momento, el proceso se llama sublimación. La sublimación no difiere de la destilación en ningún aspecto importante, excepto en el cuidado especial que se requiere para impedir que el sólido

obstruya el aparato. La rectificación de dichos materiales es imposible. El yodo se purifica por sublimación.

**DESTILACIÓN DESTRUCTIVA** Cuando se calienta una sustancia a una temperatura elevada, descomponiéndola en varios productos que se separan por fraccionamiento en la misma operación, el proceso se llama destilación destructiva. Sus aplicaciones más importantes son la destilación destructiva del carbón para el coque, el alquitrán, el gas y el amoníaco, y la destilación destructiva de la madera para el carbón de leña, el ácido etanoico, la propanona y el metanol. Este último proceso ha sido ampliamente desplazado por procedimientos sintéticos para fabricar distintos subproductos. El craqueo del petróleo es similar a la destilación destructiva.

2. **Evaporación.** Conversión gradual de un líquido en gas sin que haya ebullición. Las moléculas de cualquier líquido se encuentran en constante movimiento. La velocidad media (o promedio) de las moléculas sólo depende de la temperatura, pero puede haber moléculas individuales que se muevan a una velocidad mucho mayor o mucho menor que la media. A temperaturas por debajo del punto de ebullición, es posible que moléculas individuales que se aproximen a la superficie con una velocidad superior a la media tengan suficiente energía para escapar de la superficie y pasar al espacio situado por encima como moléculas de gas. Como sólo se escapan las moléculas más rápidas, la velocidad media de las demás moléculas disminuye; dado que la temperatura, a su vez, sólo depende de la velocidad media de las moléculas, la temperatura del líquido que queda también disminuye. Es decir, la evaporación es un proceso que enfría; si se pone una gota de agua sobre la piel, se siente frío cuando se evapora. En el caso de una gota de alcohol, que se evapora con más rapidez que el agua, la sensación de frío es todavía mayor. Si un líquido se evapora en un recipiente cerrado, el espacio situado sobre el líquido se llena rápidamente de vapor, y

la evaporación se ve pronto compensada por el proceso opuesto, la condensación. Para que la evaporación continúe produciéndose con rapidez hay que eliminar el vapor tan rápido como se forma. Por este motivo, un líquido se evapora con la máxima rapidez cuando se crea una corriente de aire sobre su superficie o cuando se extrae el vapor con una bomba de vacío.

3. **Conductividad del calor.** Cuando dos partes de un material se mantienen a diferentes temperaturas, la energía se transfiere mediante colisiones moleculares de las temperaturas más altas a las más bajas. En este proceso de conducción también participa el movimiento de los electrones libres dentro de la sustancia. Estos electrones se separan de sus átomos padres y quedan en libertad para moverse de átomo en átomo cuando se estimulan tanto eléctrica como térmicamente. La mayor parte de los metales son buenos conductores de calor ya que tienen cierto número de electrones libres que pueden distribuirlo además del que se propaga por la agitación molecular. En general, un buen conductor de la electricidad también lo es del calor.

La ley fundamental de la conducción del calor es una generalización de los resultados experimentales en relación con el flujo del calor a través de un material en forma de placa. Considérese la placa que se muestra en la figura 3.11, de espesor  $L$  y área  $A$ .

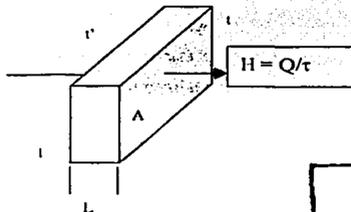


Figura 3.11 Conductividad del calor

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Una de las caras se mantiene a una temperatura  $t$  y la otra a una temperatura  $t'$ . A continuación se mide la cantidad de calor  $Q$  que fluye perpendicular a la cara durante un tiempo  $r$ . El experimento se repite para muchos materiales diferentes de distintos espesores y áreas de la cara; de estos experimentos pueden deducirse algunas observaciones generales en relación con el proceso de conducción de calor:

La cantidad de calor que se transfiere por unidad de tiempo es directamente proporcional a la diferencia de temperaturas ( $\Delta t = t' - t$ ) entre las dos caras:

La cantidad de calor que se transfiere por unidad de tiempo es directamente proporcional al área  $A$  de la placa.

La cantidad de calor que se transfiere por unidad de tiempo es inversamente proporcional al espesor  $L$  de la placa.

Estos resultados anteriores pueden expresarse en forma de ecuación al introducir una constante de proporcionalidad  $k$ , que se escribe:

$$H = \frac{Q}{r} = kA \frac{\Delta t}{L}$$

En donde  $H$  representa la velocidad con la cual se transfiere el calor. Aunque esta ecuación se estableció para un material en forma de placa, también se cumple para una barra de sección transversal  $A$  y longitud  $L$ .

- 4. Transferencia del calor.** En física, proceso por el que se intercambia energía en forma de calor entre distintos cuerpos, o entre diferentes partes de un mismo cuerpo que están a distinta temperatura. El calor se transfiere mediante convección, radiación o conducción. Aunque estos tres procesos

pueden tener lugar simultáneamente, puede ocurrir que uno de los mecanismos predomine sobre los otros dos. Por ejemplo, el calor se transmite a través de la pared de una casa fundamentalmente por conducción, el agua de una cacerola situada sobre un quemador de gas se calienta en gran medida por convección, y la Tierra recibe calor del Sol casi exclusivamente por radiación.

**CONDUCCIÓN** En los sólidos, la única forma de transferencia de calor es la conducción. Si se calienta un extremo de una varilla metálica, de forma que aumente su temperatura, el calor se transmite hasta el extremo más frío por conducción. No se comprende en su totalidad el mecanismo exacto de la conducción de calor en los sólidos, pero se cree que se debe, en parte, al movimiento de los electrones libres que transportan energía cuando existe una diferencia de temperatura. Esta teoría explica por qué los buenos conductores eléctricos también tienden a ser buenos conductores del calor. En 1822, el matemático francés Joseph Fourier dio una expresión matemática precisa que hoy se conoce como ley de Fourier de la conducción del calor. Esta ley afirma que la velocidad de conducción de calor a través de un cuerpo por unidad de sección transversal es proporcional al gradiente de temperatura que existe en el cuerpo (con el signo cambiado).

El factor de proporcionalidad se denomina conductividad térmica del material. Los materiales como el oro, la plata o el cobre tienen conductividades térmicas elevadas y conducen bien el calor, mientras que materiales como el vidrio o el amianto tienen conductividades cientos e incluso miles de veces menores; conducen muy mal el calor, y se conocen como aislantes. En ingeniería resulta necesario conocer la velocidad de conducción del calor a través de un sólido en el que existe una diferencia de temperatura conocida. Para averiguarlo se requieren técnicas matemáticas muy complejas, sobre todo si el proceso varía con el tiempo; en este caso, se habla de conducción térmica transitoria. Con la ayuda de ordenadores

(computadoras) analógicos y digitales, estos problemas pueden resolverse en la actualidad incluso para cuerpos de geometría complicada.

**CONVECCIÓN** Si existe una diferencia de temperatura en el interior de un líquido o un gas, es casi seguro que se producirá un movimiento del fluido. Este movimiento transfiere calor de una parte del fluido a otra por un proceso llamado convección. El movimiento del fluido puede ser natural o forzado. Si se calienta un líquido o un gas, su densidad (masa por unidad de volumen) suele disminuir. Si el líquido o gas se encuentra en el campo gravitatorio, el fluido más caliente y menos denso asciende, mientras que el fluido más frío y más denso desciende. Este tipo de movimiento, debido exclusivamente a la no uniformidad de la temperatura del fluido, se denomina convección natural. La convección forzada se logra sometiendo el fluido a un gradiente de presiones, con lo que se fuerza su movimiento de acuerdo a las leyes de la mecánica de fluidos.

Supongamos, por ejemplo, que calentamos desde abajo una cacerola llena de agua. El líquido más próximo al fondo se calienta por el calor que se ha transmitido por conducción a través de la cacerola. Al expandirse, su densidad disminuye y como resultado de ello el agua caliente asciende y parte del fluido más frío baja hacia el fondo, con lo que se inicia un movimiento de circulación. El líquido más frío vuelve a calentarse por conducción, mientras que el líquido más caliente situado arriba pierde parte de su calor por radiación y lo cede al aire situado por encima. De forma similar, en una cámara vertical llena de gas, como la cámara de aire situada entre los dos paneles de una ventana con doble vidrio, el aire situado junto al panel exterior -que está más frío- desciende, mientras que al aire cercano al panel interior -más caliente- asciende, lo que produce un movimiento de circulación.

El calentamiento de una habitación mediante un radiador no depende tanto de la radiación como de las corrientes naturales de convección, que hacen que el aire caliente suba hacia el techo y el aire frío del resto de la habitación se dirija hacia el radiador. Debido a que el aire caliente tiende a subir y el aire frío a bajar, los radiadores deben colocarse cerca del suelo (y los aparatos de aire acondicionado cerca del techo) para que la eficiencia sea máxima. De la misma forma, la convección natural es responsable de la ascensión del agua caliente y el vapor en las calderas de convección natural, y del tiro de las chimeneas. La convección también determina el movimiento de las grandes masas de aire sobre la superficie terrestre, la acción de los vientos, la formación de nubes, las corrientes oceánicas y la transferencia de calor desde el interior del Sol hasta su superficie.

**RADIACIÓN** La radiación presenta una diferencia fundamental respecto a la conducción y la convección: las sustancias que intercambian calor no tienen que estar en contacto, sino que pueden estar separadas por un vacío. La radiación es un término que se aplica genéricamente a toda clase de fenómenos relacionados con ondas electromagnéticas. Algunos fenómenos de la radiación pueden describirse mediante la teoría de ondas, pero la única explicación general satisfactoria de la radiación electromagnética es la teoría cuántica. En 1905, Albert Einstein sugirió que la radiación presenta a veces un comportamiento cuantizado; en el efecto fotoeléctrico, la radiación se comporta como minúsculos proyectiles llamados fotones y no como ondas. La naturaleza cuántica de la energía radiante se había postulado antes de la aparición del artículo de Einstein, y en 1900 el físico alemán Max Planck empleó la teoría cuántica y el formalismo matemático de la mecánica estadística para derivar una ley fundamental de la radiación. La expresión matemática de esta ley, llamada distribución de Planck, relaciona la intensidad de la energía radiante que emite un cuerpo en una longitud de onda determinada con la temperatura del cuerpo. Para cada temperatura y cada longitud de onda existe un máximo de

energía radiante. Sólo un cuerpo ideal (cuerpo negro) emite radiación ajustándose exactamente a la ley de Planck. Los cuerpos reales emiten con una intensidad algo menor.

La contribución de todas las longitudes de onda a la energía radiante emitida se denomina poder emisor del cuerpo, y corresponde a la cantidad de energía emitida por unidad de superficie del cuerpo y por unidad de tiempo. Como puede demostrarse a partir de la ley de Planck, el poder emisor de una superficie es proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta. El factor de proporcionalidad se denomina constante de Stefan-Boltzmann en honor a dos físicos austriacos, Joseph Stefan y Ludwig Boltzmann que, en 1879 y 1884 respectivamente, descubrieron esta proporcionalidad entre el poder emisor y la temperatura. Según la ley de Planck, todas las sustancias emiten energía radiante sólo por tener una temperatura superior al cero absoluto. Cuanto mayor es la temperatura, mayor es la cantidad de energía emitida. Además de emitir radiación, todas las sustancias son capaces de absorberla. Por eso, aunque un cubito de hielo emite energía radiante de forma continua, se funde si se ilumina con una lámpara incandescente porque absorbe una cantidad de calor mayor de la que emite.

Las superficies opacas pueden absorber o reflejar la radiación incidente. Generalmente, las superficies mates y rugosas absorben más calor que las superficies brillantes y pulidas, y las superficies brillantes reflejan más energía radiante que las superficies mates. Además, las sustancias que absorben mucha radiación también son buenos emisores; las que reflejan mucha radiación y absorben poco son malos emisores. Por eso, los utensilios de cocina suelen tener fondos mates para una buena absorción y paredes pulidas para una emisión mínima, con lo que maximizan la transferencia total de calor al contenido de la cazuela.

Algunas sustancias, entre ellas muchos gases y el vidrio, son capaces de transmitir grandes cantidades de radiación. Se observa experimentalmente que las propiedades de absorción, reflexión y transmisión de una sustancia dependen de la longitud de onda de la radiación incidente. El vidrio, por ejemplo, transmite grandes cantidades de radiación ultravioleta, de baja longitud de onda, pero es un mal transmisor de los rayos infrarrojos, de alta longitud de onda. Una consecuencia de la distribución de Planck es que la longitud de onda a la que un cuerpo emite la cantidad máxima de energía radiante disminuye con la temperatura. La ley de desplazamiento de Wien, llamada así en honor al físico alemán Wilhelm Wien, es una expresión matemática de esta observación, y afirma que la longitud de onda que corresponde a la máxima energía, multiplicada por la temperatura absoluta del cuerpo, es igual a una constante, 2.878 micrómetros-Kelvin. Este hecho, junto con las propiedades de transmisión del vidrio antes mencionadas, explica el calentamiento de los invernaderos. La energía radiante del Sol, máxima en las longitudes de onda visibles, se transmite a través del vidrio y entra en el invernadero. En cambio, la energía emitida por los cuerpos del interior del invernadero, predominantemente de longitudes de onda mayores, correspondientes al infrarrojo, no se transmiten al exterior a través del vidrio. Así, aunque la temperatura del aire en el exterior del invernadero sea baja, la temperatura que hay dentro es mucho más alta porque se produce una considerable transferencia de calor neta hacia su interior.

Además de los procesos de transmisión de calor que aumentan o disminuyen las temperaturas de los cuerpos afectados, la transmisión de calor también puede producir cambios de fase, como la fusión del hielo o la ebullición del agua. En ingeniería, los procesos de transferencia de calor suelen diseñarse de forma que aprovechen estos fenómenos. Por ejemplo, las cápsulas espaciales que regresan a la atmósfera de la Tierra a velocidades muy altas están dotadas de un escudo térmico que se funde de forma

controlada en un proceso llamado ablación para impedir un sobrecalentamiento del interior de la cápsula. La mayoría del calor producido por el rozamiento con la atmósfera se emplea en fundir el escudo térmico y no en aumentar la temperatura de la cápsula.

5. **Punto de ebullición.** Temperatura a la que la presión de vapor de un líquido se iguala a la presión atmosférica existente sobre dicho líquido. A temperaturas inferiores al punto de ebullición (p.e.), la evaporación tiene lugar únicamente en la superficie del líquido. Durante la ebullición se forma vapor en el interior del líquido, que sale a la superficie en forma de burbujas, con el característico hervor tumultuoso de la ebullición. Cuando el líquido es una sustancia simple o una mezcla azeotrópica, continúa hirviendo mientras se le aporte calor, sin aumentar la temperatura; esto quiere decir que la ebullición se produce a una temperatura y presión constantes con independencia de la cantidad de calor aplicada al líquido.

Cuando se aumenta la presión sobre un líquido, el punto de ebullición, aumenta. El agua, sometida a una presión de 1 atmósfera (101.325 pascales), hierve a 100 °C, pero a una presión de 217 atmósferas el p.e. alcanza su valor máximo, 374 °C. Por encima de esta temperatura, (la temperatura crítica del agua) el agua en estado líquido es idéntica al vapor saturado.

Al reducir la presión sobre un líquido, baja el valor del punto de ebullición. A mayores alturas, donde la presión es menor, el agua hierve por debajo de 100 °C. Si la presión sobre una muestra de agua desciende a 6 pascales, la ebullición tendrá lugar a 0 °C.

Los puntos de ebullición se dan dentro de un amplio margen de temperaturas. El p.e. más bajo es el del helio, -268.9 °C; el más alto es probablemente el del volframio, unos 5,900 °C. Los puntos de ebullición

correspondientes a los distintos elementos y compuestos, se refieren a la presión atmosférica normal, a no ser que se especifique otra distinta.

## **FASE EXPERIMENTAL**

### **MATERIAL Y EQUIPO.**

- Lodos de perforación bentonítico 1.03 [g/cc], y densificados.
- Retorta tipo BAROID.
- Retorta tipo FANN.

### **DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.**

RETORTA BAROID. Tiene una cámara de lodo de  $10 \text{ cm}^3$  de capacidad al momento de colocar la tapa y el exceso de lodo es arrojado por un orificio en la parte superior. Después de que la cámara de lodo con todo y tapa, el cilindro de extensión y la sección de condensación son instalados, la cámara de lodo y el segmento de extensión se colocan en el lugar de calentamiento de la retorta.

RETORTA FANN. Utiliza una cámara de  $20 \text{ cm}^3$ , la cual se conecta al elemento de calentamiento, que va insertado dentro de la cámara y enroscado. En esta retorta, no se recomienda el uso de limadura de fierro, debido a que puede afectar el balance volumétrico al dejar residuos en las paredes del muestrero.



Figura 3.12 Retorta para cuantificación de Fases

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**PROCEDIMIENTO.**

- a) Saque la retorta de la caja aislante y usando la espátula como desarmador, desenrosque la cámara de lodo de la retorta.
- b) Empaque la cámara superior con lana de acero.
- c) Llene la celda de lodo y tápela asegurándose que no hay aire en ella.
- d) Limpie el exceso de lodo y atornille nuevamente la celda de lodo en la cámara superior.
- e) Ponga la retorta en la caja aislante y cúbrala con su tapa.
- f) Calíntese hasta que el líquido deje de escurrir y tómense las lecturas que indica la probeta.

**CUIDADO DEL INSTRUMENTO.**

Antes de utilizar la retorta debe de limpiarse la celda de lodo y la tapa con la espátula para remover el lodo seco, lo cual afecta las mediciones; posteriormente, se debe reemplazar la lana de acero que se encuentre endurecida por el lodo que ha sido medido anteriormente, por último, se debe limpiar el tubo de drene y el condensador con el cepillo que se provee para este uso.

**DIAGRAMAS DESCRIPTIVOS.**

Los alumnos deberán realizar los esquemas correspondientes a los equipos que utilizaron y al procedimiento que siguieron durante la realización de la práctica.

**RESULTADOS.**

El depósito de lodo en la retorta Baroid, tiene un volumen de 10 c.c. lo que facilita todas las operaciones de medición:

- % de aceite en volumen = c.c. de aceite x 10
- % de agua en volumen = c.c. de agua x 10
- % de sólidos en volumen = 100 - (% de aceite + % de agua)
- La densidad de los sólidos presentes en el lodo.

Para la retorta Fann, la cámara de lodo tiene una capacidad de 20 cm<sup>3</sup>, por lo cual viene con una probeta graduada en porcentaje para realizar las mediciones en forma directa.

Posteriormente, se pasarán los datos a la siguiente tabla:

	Densidad del lodo usado [gr/cc]	Volumen de Fase Líquida [ml]	% de Fase Líquida	Volumen de los sólidos [ml]	% de fase sólida	Densidad de los sólidos [gr/cc]
Equipo #						
Equipo #						
Equipo #						
Equipo #						

**CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES.**

**BIBLIOGRAFÍA.**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

## PRÁCTICA # 8

### “Filtro-Prensa”

#### OBJETIVO.

Conocer el manejo del filtro prensa API LP-LT (Baja Presión-Baja Temperatura) para cuantificar la pérdida de agua en lodos base agua o emulsionados.

#### INTRODUCCIÓN.

El fenómeno de la filtración, aplicado a un lodo de perforación, nos mide la habilidad de los sólidos dispersos para formar un depósito en el medio filtrante, más o menos impermeable. Las características de este enjarre depende de la cantidad y la calidad del coloide.

La pérdida de la fase continua del lodo hacia la formación (generalmente agua), sólo ocurre cuando la permeabilidad es tal que permite el paso de fluido entre los poros. Cuando estos poros son suficientemente grandes, el primer efecto es un chisguete de lodo que penetra entre los agujeros por la cara de la pared. Después, al perder fluido, se forma una capa de los sólidos del lodo sobre la pared.

Altas velocidades de filtración en los lodos, pueden causar problemas tales como la lodificación de las lutitas; invasión del filtrado, succión en el agujero debido a la formación de un enjarre demasiado grueso, etc.

Las leyes de la filtración no tienen efecto hasta que no hay un enjarre que sirve de medio filtrante, esta capa filtrante está compuesta de los sólidos del lodo, que son los sólidos naturales encontrados en el agujero y de los sólidos añadidos al lodo. Más importante que el contenido de sólidos del lodo, es el tamaño, forma y distribución de las partículas. Para obtener las propiedades óptimas del enjarre, se le debe dar importancia no

sólo a los sólidos básicos de lodo, sino también a los materiales usados para el control de la pérdida de agua.

El efecto de la presión en el volumen del filtrado es variable y depende principalmente de la cantidad, tamaño y forma de los sólidos en el lodo; especialmente de los sólidos coloidales. El enjarre de los lodos bentoníticos es compresible de modo que a mayores presiones no se obtienen filtrados proporcionalmente más altos. Un lodo formado por agua y bentonita de buena calidad tiene prácticamente el mismo filtrado a 100 y a 5000

lb  
pulgada<sup>2</sup>

Para que el material arcilloso desarrolle propiedades reológicas, tixotrópicas e impermeabilizantes es necesario que se hidrate en agua dulce como es el caso de la bentonita; la cual se expande manifestando un aumento en su volumen y su capacidad de atrapar y suspender a la barita; la cual es utilizada como material densificante para controlar las presiones de las formaciones y por su habilidad para formar un sello impermeable en las paredes del pozo que sirve para evitar o controlar la pérdida de agua.

Existen dos tipos de filtración, la dinámica que ocurre cuando el fluido está circulando; y la estática, cuando el líquido está en reposo. No existe ningún medio adecuado para medir la filtración dinámica, razón por la cual, el ingeniero de fluidos tiene que trabajar con la filtración estática, la cual se determina en el laboratorio con el Filtro Prensa, que es el equipo estándar del API; este filtro emplea como fuente de presión oxígeno o nitrógeno comprimido, prefiriéndose este último por ser inerte. El cilindro con el gas comprimido tiene un regulador de presión y una válvula especial de seguridad; y está conectado por una manguera con el filtro-prensa en la tapa superior.

Hay dos métodos estándar para medir la pérdida relativa de fluido en un lodo y ambos son similares; pero se diferencian en la presión que se le aplica a la muestra de lodo; ya que el ensayo API estándar se lleva a cabo a temperatura ambiente y a una presión de 100 psi; mientras que la prueba API HP-IT se realiza generalmente a 300 °F (149 °C) y

500 psi aunque puede realizarse a temperaturas y presiones que simulen las condiciones subterráneas.

La prueba HP-HT da como resultado una pérdida mayor de fluido que la prueba a menor presión y menor temperatura; esto se debe a que en ocasiones los aditivos que se utilizan para combatir la pérdida de agua, se degradan al verse sometidos a grandes temperaturas y presiones.

La prueba consiste en determinar la velocidad a la cual pasa el fluido a través del filtro prensa que contiene la muestra de lodo. Bajo condiciones específicas de tiempo y presión, midiendo el espesor de la película de sólidos depositada sobre el papel filtro por pérdida de fluido. Hay dos filtros prensa usados corrientemente en el campo; el BAROID y el FANN; ambos llenan las especificaciones del A.P.I., usando papel filtro Whatman #50 o un grado equivalente con un área de filtración de 7 pulgadas cuadradas.

#### FACTORES QUE AFECTAN LA FILTRACIÓN

- a) *Tiempo.*- La pérdida de agua de acuerdo con las especificaciones del API, se toma en un período de 30 minutos, si se usa algún otro período de tiempo, debe anotarse este intervalo en el reporte.

En la mayoría de los países, es práctica común tomar la pérdida de agua a 7.5 minutos y el resultado se multiplica por dos para obtener el equivalente del período de 30 minutos. Esto se realiza a pesar de que el enjarre no es constante y de que todos los enjarres son más o menos compresibles, pero si realizamos la gráfica del filtrado Q contra la raíz cuadrada del tiempo, resultará una línea recta, lo cual válida la práctica de recortar el tiempo de la prueba.

Reduciendo a la más simple expresión matemática la ecuación de filtración:

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

Donde:

$Q_2$  = Filtrado desconocido en el tiempo  $T_2$

$Q_1$  = Filtrado conocido en el tiempo  $T_1$

- b) *Presión.*- 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 lodo, esto no es exacto, debido a que el enjarre se encuentra sometido a compresiones lo que redonda en cambios de porosidad y permeabilidad.
- c) *Temperatura.*- Un aumento de la temperatura tiene como principal efecto aumentar la pérdida de agua, ya que se disminuye la viscosidad de la fase líquida.
- d) *Dispersión.*- la dispersión apropiada de las arcillas coloidales es muy importante para el control de la filtración; ya que la adición de reactivos, además de dispersar los sólidos también sirve para dar fuerza al enjarre. En algunos casos la velocidad de filtración puede disminuirse mediante la adición de agua al sistema, esto puede suceder cuando se agrega agua a un lodo densificado que contiene demasiados sólidos

### CONOCIMIENTOS PREVIOS REQUERIDOS.

#### 1. Concepto de enjarre, película, adherencia, absorción, elasticidad y plasticidad.

Enjarre: Es la formación de una capa de arcilla impermeable por depósito en la pared del agujero.

Película: Capa delgada y delicada que recubre la superficie de algún material.

**Adherencia:** Manifestación especial de la fuerzas intermoleculares que hace que los sólidos o los líquidos se adhieran entre sí; generalmente se emplea refiriéndose a la adhesión entre dos materiales diferentes.

**Absorción:** Proceso de succionar, aspirar; tomar algo y hacerlo parte de un todo existente.

**Elasticidad:** Propiedad de un material que le hace recuperar su tamaño y forma original después de ser comprimido o estirado por una fuerza externa. Cuando una fuerza externa actúa sobre un material causa un esfuerzo o tensión en el interior del material que provoca la deformación del mismo.

**Plasticidad:** Es la capacidad que tienen los materiales para moldearse; dependiendo de la calidad del plástico que pueda contener dicho material.

## **2. Consideraciones de seguridad en el manejo de equipos de presión.**

- Leer las especificaciones y advertencias sobre los límites máximos y mínimos de presión sobre los equipos.
- No someter a los equipos o recipientes de presión a ambientes no adecuados.
- Saber leer las graduaciones de los manómetros para determinar sus rangos mínimos y máximos.
- Que los equipos a utilizar cuenten con manómetros que soporten las presiones a los cuales van a ser sometidos.

### **3. Presión y equipos para su control.**

- Sensor de presión
- Transmisores inteligentes de presión diferencial.
- Transmisor inteligente de presión manométrica, o absoluta.
- Transmisores de presión y nivel.

**4. Filtración.** Es un proceso en el cual las partículas sólidas que se encuentran en un fluido líquido o gaseoso, se separan por medio de la utilización de un medio filtrante, también llamado filtro, el cual permite el paso del fluido a través de él; pero retiene el paso de las partículas sólidas. Esto se debe a que en ocasiones lo que nos interesa es recoger el fluido limpio, las partículas sólidas o ambas cosas.

Los elementos que intervienen en la filtración son:

- ✓ Un medio filtrante.
- ✓ Un fluido que contenga sólidos en suspensión.
- ✓ Una fuerza, generalmente una diferencia de presión que obligue al fluido a avanzar a través del filtro.
- ✓ Un dispositivo mecánico, llamado filtro, el cual contiene al medio filtrante, al fluido y permite la aplicación de la fuerza.

### Medios Filtrantes

- ✓ Los que actúan formando una barrera delgada que permite el paso sólo del fluido y no de las partículas sólidas que se encuentran suspendidas.
- ✓ Los que actúan formando una barrera gruesa al paso del fluido.

Un medio filtrante delgado ofrece una barrera en la que los poros son más pequeños que las partículas en suspensión, que son separadas del fluido y retenidas en el filtro. En los medios filtrantes gruesos los poros pueden ser más gruesos que las partículas que se van a separar, las cuales pueden acompañar al fluido alguna distancia a través del medio, pero son retenidas tarde o temprano por el medio filtrante debido a los finos intersticios que existen entre las partículas que lo constituyen.

Los filtros se pueden clasificar, de acuerdo con la naturaleza de la fuerza que causa la filtración en: filtros de gravedad, de presión o de vacío.

### FASE EXPERIMENTAL

#### MATERIAL Y EQUIPO.

- Lodos de perforación bentonítico 1.03 [g/cc], y densificados.
- Filtro prensa de baja presión, con accesorios (papel filtro, empaques, malla).
- Probetas graduadas.
- Crónometro.

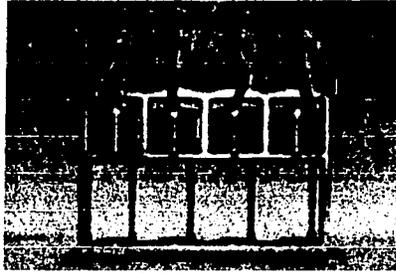


Figura 3.13 Filtro Prensa L.T-LP

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

#### DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.

El filtro prensa FANN, modelo de laboratorio; consiste de un marco tubular con acoplamientos para colocar de dos a seis celdas, la celda de lodo se acopla al regulador por medio de un adaptador y se cierra en el fondo por medio del yugo y tornillo, prensando una hoja de papel filtro contra un empaque de neopreno. Cada celda puede ser operada independientemente de las demás, debido a que hay una válvula de aguja de doble uso en cada sección, una sección de la válvula controla la presión de entrada y la otra sirve para descargar la presión al terminar la prueba. La fuente de presión es un tanque de Nitrógeno el cual se acopla por medio de mangueras, manómetros y válvulas al marco tubular que sostiene a las celdas.

#### PROCEDIMIENTO.

- a) Ensamble, completamente secas, todas las piezas de la celda: la tapa inferior, empaque, malla, papel filtro, empaque y la parte superior de la celda.
- b) Llene la celda con la muestra de lodo hasta  $\frac{1}{2}$  cm de la parte superior.

- c) Ponga la celda en el marco. Asegurándose de que la tapa superior tiene su empaque y tapando la celda con el tornillo "T".
- d) Ponga debajo del tubo de filtración una probeta graduada y seca para recoger el líquido.
- e) Abra las válvulas del tanque y del tablero y regule la presión a 100 lbs/plg<sup>2</sup>.
- f) La duración estándar de la prueba es de 30 minutos, sin embargo, en laboratorio se toman 7.5 minutos y los resultados de filtración y grueso del enjarre se duplican.
- g) Antes de retirar la celda cierre las válvulas del tablero y abra la válvula de escape para permitir la salida del gas a presión.

### **CUIDADO DEL INSTRUMENTO**

El filtro-prensa debe ser lavado y secado en todas sus partes una vez que ha sido utilizado, además se debe tener cuidado de que el tornillo "T", regulador de la válvula de fuente debe estar desenroscado al máximo cuando no esté en operación.

### **DIAGRAMAS DESCRIPTIVOS.**

El alumno deberá realizar los diagramas del equipo así como del enjarre y filtrado que obtuvo durante la prueba.

### **RESULTADOS.**

Como resultados, se debe reportar:

- El filtrado en centímetros cúbicos.

- Vaciar el lodo de la celda, desensamblar la celda y con cuidado, sacar el papel filtro para medir el grueso del enjarre, el cual se debe reportar en milímetros.
- Anotar las características más sobresaliente como: La presencia de aceite en el filtrado (si el lodo es base aceite), la dureza, flexibilidad y lubricidad del enjarre, etc.

**TABLA DE RESULTADOS**

Equipo	Volumen del filtrado en [ml]			
	Densidad lodo 1	Densidad lodo 2	Densidad lodo 3	Densidad lodo 4

**CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES.**

**BIBLIOGRAFÍA.**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

## PRÁCTICA # 9

### “Uso del Elutiómetro”

#### OBJETIVO.

Determinar el contenido de sílice en un lodo de perforación, mediante el uso del Elutiómetro.

#### INTRODUCCIÓN.

El contenido de arena de un fluido de perforación es perjudicial desde cualquier punto de vista. Si ésta se presenta en una cantidad suficiente puede “pegar” la tubería de perforación o la barrena a las paredes del pozo, causando una torcedura o un “pescado”, además, la presencia de arena en un fluido de perforación lo hace abrasivo lo cual repercute en el desgaste rápido de las camisas de la bomba, de la tubería de perforación, de revestimiento y de todos los equipos metálicos con los que se ponga en contacto. Por otra parte, los fluidos con alto contenido de arena no presentan buenas condiciones para la formación de enjarres, ya que forman paredes muy gruesas lo que las hace propensas a interferir con el paso de las herramientas y de la tubería de ademe.

Todos los materiales que retenga un tamiz de 200 mallas (por  $6.45 \text{ cm}^2$ ), pueden ser considerados como “arena”, y se recomienda en la práctica mantener el contenido de estos sólidos en los lodos de perforación por debajo del 2%; por lo que se hace necesario realizar mediciones constantemente para asegurar que nuestro fluido se encuentra dentro de esta especificación.

La arena contenida en un fluido de perforación es medida en por ciento de partículas de arena que son retenidas en una malla No. 200. esta medida nos dará una indicación para el tratamiento que se dará al fluido de perforación y nos hará una evaluación de la eficiencia del equipo de control de sólidos y el procedimiento de su operación. Esta medida es hecha con muestras de lodo tomadas en la línea de flujo o en la presa de succión

indicando el porcentaje de partículas de arena que circulan a la superficie y sirviendo para comprobar la efectividad de la remoción de sólidos.

El contenido de arena en la muestra de la presa de succión, debe ser casi nulo, de lo contrario, estos sólidos volverán a la circulación y alcanzarán tamaños coloidales.

### **CONOCIMIENTOS PREVIOS REQUERIDOS.**

- 1. Película.** Se llama película a una pequeña capa de material que se forma sobre una superficie, para cubrirla, impermeabilizarla o sellarla.
- 2. Poder lubricante.** Es la capacidad que tiene una sustancia para lubricar una superficie con el fin de protegerla del desgaste causado por la fricción. Los principales lubricantes son aceites, los cuales evitan el desgaste por abrasividad.
- 3. Dilución.** Es la acción mediante la cual una sustancia o un sólido se desintegran dentro de un líquido en mayor proporción el cual recibe el nombre de disolvente.
- 4. Decantación.** Separación de un líquido de sólidos o de un líquido de mayor densidad mediante el trasiego de la capa superior después de que la materia más pesada se ha sedimentado.
- 5. Abrasividad.** Es la acción de desgastar una superficie promedio del contacto con otra de mayor dureza o resistencia al desgaste.
- 6. Malla o criba.** Una malla es un tejido sintético o metálico muy fino que estirada y adherida al marco permite el paso de partículas más pequeñas que los espacios entre los hilos. Los requisitos de una malla son:

resistencia al roce, a la tracción, facilidad de limpieza y buena estabilidad dimensional.

### FASE EXPERIMENTAL

#### MATERIAL Y EQUIPO.

- Lodos de perforación bentonítico y densificados.
- Elutriómetro.
- Embudo y malla No. 200.
- Equipos de Agitación.



Figura 3.14 Elutriómetro para la determinación de arena

#### DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.

El equipo de contenido de arena consiste de un colador de 2 ½ pulgadas de diámetro, un embudo que embona en el colador y un tubo de vidrio con marcas para la cantidad de lodo que se debe usar, para obtener el porcentaje de arena directamente en el fondo del tubo, que está graduado de 0 a 20%.

**PROCEDIMIENTO.**

- a) Vierta el lodo en el elutiómetro hasta la marca indicadora.
- b) Agregue agua hasta el segundo nivel para diluir al lodo.
- c) Tape la boca del tubo con el dedo pulgar y agite vigorosamente.
- d) Pase la suspensión a través del cedazo y lave cuidadosamente el elutiómetro agregando agua y repitiendo la operación.
- e) Invierta el cedazo, colóquelo el embudo e insértelo en el elutiómetro.
- f) Lave la malla con agua hasta dejarla limpia.
- g) Lea directamente en el extremo inferior graduado el contenido de arena.

**CUIDADO DEL INSTRUMENTO.**

El instrumento debe lavarse y secarse después de cada operación teniendo cuidado de limpiar todo el material que se ha sedimentado después de la prueba para que no se solidifique y afecte mediciones posteriores.

**DIAGRAMAS DESCRIPTIVOS.**

Los alumnos deberán realizar los diagramas correspondientes al equipo utilizado.

**RESULTADOS.**

Reportar el contenido de arena en porciento en volumen en la siguiente tabla.

## TABLA DE RESULTADOS

Equipo	Densidad del Fluido 1	% de Arena	Densidad del Fluido 2	% de Arena	Densidad del Fluido 3	% de Arena	Densidad del Fluido 4	% de Arena

CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES.

BIBLIOGRAFÍA.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## PRÁCTICA # 10

“Determinación de la acidez o alcalinidad de un fluido de perforación, mediante el uso del papel pH, del potenciómetro y de Métodos Argentométricos”

### OBJETIVO.

Establecer el valor requerido de pH en un fluido de perforación y los requerimientos durante la perforación.

### INTRODUCCIÓN.

En el agua pura la presencia de los iones  $\text{H}_3\text{O}^+$  y  $\text{OH}^-$  procede únicamente de su disociación iónica, por lo que sus concentraciones respectivas son iguales. Es decir:

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-] = \sqrt{10^{-14}} = 10^{-7}$$

La presencia de un ácido en disolución dará lugar a un aumento de la concentración de los iones  $\text{H}_3\text{O}^+$ , o lo que es lo mismo, el exponente disminuirá en valor absoluto por debajo de siete, alcanzando, por ejemplo, el valor de:

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-4} = \frac{1}{10^4} \times \frac{1}{10^7} = 10^{-7}$$

En disoluciones diluidas, el producto iónico del agua  $K_w$  es constante, por lo que un aumento de  $[\text{H}_3\text{O}^+]$  supondrá una disminución de  $[\text{OH}^-]$  y viceversa. Por tanto, la adición de una base aumentará la concentración de iones  $\text{OH}^-$  y disminuirá la de iones  $\text{H}_3\text{O}^+$ , de modo que el exponente de la potencia decimal que lo representa aumentará el valor absoluto por encima de siete, por ejemplo:

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-10} = \frac{1}{10^{10}} \left( \frac{1}{10^7} \right) = 10^{-7}$$

Por lo que parece razonable considerar el exponente de la concentración de iones  $\text{H}_3\text{O}^+$  de una disolución como una medida de su grado de acidez.

### CONOCIMIENTOS PREVIOS REQUERIDOS.

1. **pH.** Es un valor que representa que tan ácida o alcalina es una sustancia, pero en sí nos dice la cantidad de iones  $\text{H}^+$  o  $\text{OH}^-$  que la sustancia tiene.
2. **Fenómeno Iónico.** Se maneja a escala atómica y se refiere al fenómeno que ocurre cuando se comparten electrones entre dos átomos.
3. **Medios para determinar el pH.** El pH de una disolución puede medirse mediante una valoración, que consiste en la neutralización del ácido (o base) con una cantidad determinada de base (o ácido) de concentración conocida, en presencia de un indicador (un compuesto cuyo color varía con el pH). También se puede determinar midiendo el potencial eléctrico que se origina en ciertos electrodos especiales sumergidos en la disolución.

*Indicador.*- Sustancia natural o sintética que cambia de color en respuesta a la naturaleza de su medio químico. Los indicadores se utilizan para obtener información sobre el grado de acidez o pH de una sustancia, o sobre el estado de una reacción química en una disolución que se está valorando o analizando. Uno de los indicadores más antiguos es el tornasol, un tinte vegetal que adquiere color rojo en las disoluciones ácidas y azul en las básicas. Otros indicadores son la alizarina, el rojo de metilo y la

fenolftaleína; cada uno de ellos es útil en un intervalo particular de acidez o para un cierto tipo de reacción química.

*Tornasol.*- Tinte vegetal obtenido de los líquenes, normalmente del género *Variolaria*, y que se utiliza en química para determinar la presencia química para determinar la presencia de un ácido o una base, se utilizan tiras de papel impregnadas en una disolución de tornasol azul o rojo, o pequeñas cantidades de la misma disolución; los ácidos colorean de rojo el tornasol azul, y las bases de azul el tornasol rojo.

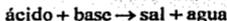
En la industria se utilizan dos métodos para medir la concentración de los iones hidrógeno o pH del lodo. Uno de ellos es un método colorímetro modificado usando papel indicador y el método electromecánico empleando el electrodo de vidrio. El método del papel no es confiable si la concentración de sal es alta, y el método electromecánico está sujeto a error en soluciones que contienen altas concentraciones de iones sodio, a menos que se use un electrodo especial de vidrio o que se hagan las correcciones necesarias usando el electrodo ordinario.

*Papel pHydrión.*- Este papel, está impregnado con tinturas de tal naturaleza que el color depende del pH del medio en que se coloca el papel. Se suministra una muestra de colores estándar para comparación de los colores de prueba. Pueden obtenerse papeles pHydrión en una variedad de rangos que permiten la estimación del pH hasta con 0.5 de unidad de aproximación.

*Medidor de pH Beckman.*- El medidor de pH Beckman consiste en un electrodo de vidrio, un amplificador electrónico y un cuadrante calibrado en unidades de pH. El sistema de electrodos se compone de un electrodo de vidrio que consiste en un bulbo de pared delgada fabricado de un vidrio especial dentro del cual está encerrado un electrolito y un electrodo; y de un

electrodo de referencia que es una celda, saturada de calomel. La conexión eléctrica con el Iodo, se establece a través de una solución saturada de cloruro de potasio contenido en un tubo que rodea la celda de calomel. El potencial eléctrico generado en el sistema de electrodos por los iones hidrógeno del Iodo de perforación, se amplifica y opera la aguja del cuadrante que marca el pH.

4. **Neutralización.** La reacción mediante la cual una base neutraliza las propiedades de un ácido recibe el nombre de neutralización y se ajusta, en términos generales, a una ecuación del tipo:



Así por, ejemplo:



De acuerdo con la teoría de Arrhenius, la neutralización se reduce a una reacción entre los iones  $\text{H}^+$  y  $\text{OH}^-$  característicos respectivamente de ácidos y bases para dar agua.

Si la concentración de base es suficiente, todos los iones  $\text{H}^+$  procedentes del ácido serán neutralizados por los  $\text{OH}^-$  procedentes de la base. Un exceso de base otorgará a la disolución resultante un carácter básico. Por el contrario, la existencia de los iones  $\text{H}^+$  no neutralizados, debido a un exceso de ácido, dará lugar a que la disolución tenga carácter ácido.

Aún cuando la teoría de Arrhenius tiene esa validez restringida característica de las primeras aproximaciones, constituyó, sin embargo, un adelanto importante en la explicación de los procesos químicos, y a pesar de

sus limitaciones, se sigue utilizando por su sencillez en aquellas circunstancias en las que la facilidad de comprensión pesa más que el estricto rigor científico.

5. **Equivalente químico.** Es el peso de un elemento o radical que se combina, desplaza o es equivalente en cualquier forma al peso unidad de hidrógeno.
  
6. **Partes por millón.** Las partes por millón se utilizan para determinar la concentración de una sustancia química en un volumen determinado. Se obtiene al dividir el volumen en un millón de partes iguales; cada millonésima parte de este volumen correspondiente a la sustancia de nuestro interés, se considera una parte por millón de la sustancia.
  
7. **Principios que rigen los métodos volumétricos.** Es el método por el que se determina una cantidad desconocida de una sustancia en particular mediante la acción de un reactivo patrón que reacciona con ella en proporción definida y conocida.

## **FASE EXPERIMENTAL**

### **PARTE I**

#### **EQUIPO Y MATERIAL.**

- Lodos de perforación bentonítico 1.03 [g/cc], y densificados.
- Papel indicador de pH.
- Cinta indicadora de pH.

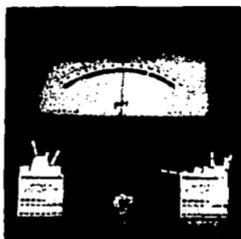


Figura 3.15 Equipos para medir el pH

**PROCEDIMIENTO.**

- a) Recoger una muestra de fluido.
- b) Tomar del dispensador una tira de 1 pulgada de papel indicador.
- c) Poner el papel indicador sobre la superficie de la muestra de fluido.
- d) Dejar que la tira de papel absorba el fluido de la muestra hasta que el papel cambie de color.

*Nota: El tiempo que tarda el papel para absorber el fluido variará entre unos pocos segundos y unos pocos minutos.*

- e) Hacer coincidir el color del papel con la carta de colores sobre un costado de la caja dispensadora.

Si...	Luego...
El color no está en la carta de colores y no se puede hacer coincidir,	Repetir los Pasos del a) al e) usando un papel pH con un rango más próxima a la escala de pH prevista.

- f) Leer y registrar el valor pH.

**PARTE II**

**MATERIAL Y EQUIPO.**

- Lodos de perforación bentonítico 1.03 [g/cc], y densificados sin alcalinizar y alcalinizados.
- pHímetro.

**PROCEDIMIENTO.**

- a) Recoger una muestra de fluido.
- b) Dejar que la muestra de fluido y las soluciones amortiguadoras alcancen la temperatura ambiente.
- c) Sumergir un termómetro limpio en la solución amortiguadora pH 7 y medir la temperatura.
- d) Ajustar el control de temperatura del medidor de pH a la temperatura de la solución amortiguadora.
- e) Limpiar la punta de prueba con agua destilada y secarla con un paño suave que no tenga pelusa.
- f) Sumergir la punta de prueba en la solución amortiguadora pH 7.
- g) Dejar que la lectura se estabilice.
- h) Fijar el medidor de pH para que marque 7.00 usando la perilla standardize.
- i) Enjuagar con agua destilada y secar la punta de prueba.

- j) Repetir los Pasos f) y g) sustituyendo la solución amortiguadora pH 7 por solución amortiguadora pH 10.
- k) Ajustar a 10.00 la lectura del medidor usando la perilla de ajuste slope.
- l) Controlar el medidor con la solución amortiguadora pH 7.
- m) Enjuagar la punta de prueba con agua destilada y secarla.
- n) Controlar nuevamente la calibración mediante repetición de los Pasos f) al j).

*Nota: Si no se puede calibrar el medidor, reemplazar los electrodos y empezar de nuevo el procedimiento usando soluciones amortiguadoras frescas.*

- o) Enjuagar con agua destilada y repasar a seco la punta de prueba.
- p) Sumergir la punta de prueba en la muestra que se va a probar, y revolver.
- q) Parar de revolver (después de 10-20 segundos) y esperar a que la lectura se estabilice.
- r) Registrar el pH con aproximación de 0.1 de la unidad.

### PARTE III

## FASE EXPERIMENTAL

### MATERIAL Y EQUIPO.

- Lodos de perforación bentonítico 1.03 [g/cc], y densificados sin alcalinizar y alcalinizados.

- Métodos Volumétricos.

### PROCEDIMIENTO.

- Recoger una muestra del fluido.
- Pasar 1 ml de la muestra al plato de titulación usando la jeringa.
- Agregar 50 ml de agua destilada en el plato de titulación y agitar. Observar el color de la mezcla para el Paso c).

*Nota: Para lodos de cal, usar 200 ml de agua destilada.*

*Agregar 10 a 15 gotas de solución indicadora de fenolftaleína en el plato de titulación y revolver.*

Si...	Luego...
Aparece color rosado o rojo	Vaya al Paso 5.
No hay cambio de color	$P_m$ es igual a cero. Vaya al Paso 6.

- Agregar la solución de ácido sulfúrico en el plato de titulación de a una gota por vez hasta que el color cambie de rosado o rojo al color original.
- Registrar la cantidad de solución de ácido sulfúrico usada (en ml) como  $P_m$ .

### DIAGRAMAS DESCRIPTIVOS.

### RESULTADOS.

### CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES.

### BIBLIOGRAFÍA.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## PRÁCTICA # 11

### “Control de la salinidad por medio de Métodos Volumétricos y Argentométricos”

#### OBJETIVO.

Conocer técnicas que permitan su cuantificación para determinar las limitaciones de los materiales arcillosos.

#### INTRODUCCIÓN.

La sal ordinaria es uno de los contaminantes más comunes; ya que ésta puede incorporarse al lodo por el agua de tratamiento, al perforar formaciones de sal o por la presencia de flujos de agua salada. Algunas veces se agrega a propósito al sistema para obtener un lodo con menor resistividad y de esta forma sea más adecuado para la toma de registros eléctricos.

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 positivos que rodean las partículas coloidales están más cercanos, esto neutraliza la carga negativa de las partículas de arcilla y permite a las partículas acercarse tanto que forman agregados que ya no tienen dimensiones coloidales. Esta acción es muy rápida y produce un aumento en la viscosidad debido a la interferencia de las partículas.

Los electrolitos del agua salada atraen fuertemente las moléculas polares de agua, debido a esto hay una deshidratación gradual de las partículas coloidales durante varios días, lo cual reduce la estabilidad de las partículas coloidales. Consecuentemente, después de unos días puede haber una reducción de la viscosidad en el lodo la cual es producida por el efecto de la dilución del agua que anteriormente estaba unida a las partículas de arcilla y a la sedimentación de los grandes agregados del lodo en las presas.

## **CONOCIMIENTOS PREVIOS REQUERIDOS.**

- 1. Factor gravimétrico.** Es la relación existente entre el peso fórmula de la sustancia buscada y el peso fórmula de la sustancia que se obtiene cuando es pesada.
- 2. Ionización.** Es el proceso por el cual un átomo o molécula neutra o descargada adquiere una carga y forma así un ión.
- 3. Saturación.** Se dice que una disolución está saturada con respecto a un determinado soluto, cuando contiene la mayor cantidad de dicho soluto que es posible esté disuelto en cierta cantidad de disolvente a una temperatura dada.
- 4. Partes por millón.** Las partes por millón se utilizan para determinar la concentración de una sustancia química en un volumen determinado. Se obtiene al dividir el volumen en un millón de partes iguales; cada millonésima parte de este volumen correspondiente a la sustancia de nuestro interés, se considera una parte por millón de la sustancia.
- 5. Salmuera.** Es una solución consistente en agua como elemento solvente con cloruro de sodio (soluto) en gran cantidad de manera que es imposible su total dilución.
- 6. Corrosión.** La corrosión es el ataque destructivo al metal causado por una reacción química o electroquímica entre el metal y el medio ambiente. La corrosión puede ser uniforme, dando una delgadez uniforme, o se podrá concentrar en forma de puntos discretos localizados en grandes áreas.

7. **Floculación.** Es el acto de unir físicamente partículas micrométricas en grandes aglomeraciones; las cuales pueden separarse del fluido de perforación por métodos mecánicos y químicos. La floculación es el único método para remover los sólidos de tamaño coloidal que se producen durante la perforación, los cuales son sumamente perjudiciales en el avance de la perforación.
  
8. **Precipitación.** Es la formación de un compuesto insoluble a partir de una disolución a la que se añade un reactivo adecuadamente elegido. En una suspensión la Ley de Stokes relaciona el tamaño de la partícula sólida con su velocidad de caída bajo el influjo de la gravedad del medio líquido.
  
9. **Normalidad.** La normalidad es el modo de expresar la cantidad de una sustancia que existe en una disolución de concentración determinada.
  
10. **Titulación volumétrica y principios que la rigen.** Es el método por el que se determina una cantidad desconocida de una sustancia en particular mediante la acción de un reactivo patrón que reacciona con ella en proporción definida y conocida.

### FASE EXPERIMENTAL

#### MATERIAL Y EQUIPO.

- Lodos de perforación bentonítico 1.03 [g/cc], y densificados.
- Probetas volumétricas de 50 ml.
- Soportes Universales.
- Solución indicadora de Cromato de potasio.
- Solución de Nitrato de plata 0.28 N.

- Matraz Erlen-Meyer de 100 ml.
- Sistemas de agitación magnéticos.



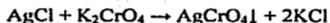
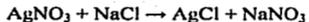
3.16 Reactivos para medir salinidad



### **PROCEDIMIENTO.**

Los alumnos contaminarán los fluidos con distintas cantidades de sal, y observarán los efectos que tiene en las propiedades básicas como son el filtrado y las propiedades reológicas y tixotrópicas, por lo cual deberán realizar los experimentos de las prácticas 6 y 8; posteriormente realizarán la siguiente reacción química para la determinación de la cantidad de sal presente en el fluido.

#### **Reacción Argentométrica**



### **DIAGRAMAS DESCRIPTIVOS.**

Los alumnos deberán realizar los diagramas correspondientes a los equipos utilizados y de los pasos seguidos en la realización de la práctica.

### **RESULTADOS.**

Los alumnos deberán llenar las siguientes tablas de resultados:

**Fluido sin Sal**

	Equipo	L600	L300	L200	L100	L6	L3	L3 <sub>10s</sub>	L3 <sub>10m</sub>
Fluido 1	1								
	2								
	3								
Fluido 2	1								
	2								
	3								
Fluido 3	1								
	2								
	3								
Fluido 4	1								
	2								
	3								

**Fluido con Sal**

	Equipo	L600	L300	L200	L100	L6	L3	L3 <sub>10s</sub>	L3 <sub>10m</sub>
Fluido 1	1								
	2								
	3								
Fluido 2	1								
	2								
	3								
Fluido 3	1								
	2								
	3								
Fluido 4	1								
	2								
	3								

Posteriormente realizarán gráficas que comparen el comportamiento reológico y tixotrópico de los fluidos antes de ser contaminados y ya contaminados.

**CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES.****BIBLIOGRAFÍA.**

## **PRÁCTICA #12**

### **“Ensayo con azul de metileno (MBT)”**

#### **OBJETIVO.**

Determinar la capacidad de intercambio de cationes (CEC) y la concentración equivalente de bentonita de un fluido de perforación base agua o fluido de terminación/repelación.

#### **INTRODUCCIÓN.**

La prueba de la tinción del azul de metileno, está diseñada especialmente para determinar la capacidad de una arcilla para absorber cationes de una solución. El método es particularmente aplicable a los lodos de perforación, pero puede aplicarse en forma efectiva a dispersiones acuosas de arcilla pulverizada, núcleos, recortes de perforación y en las arenas para moldeo de fundición.

Como todos los métodos de intercambio de catión, la prueba del azul de metileno mide la capacidad total de intercambio del sistema de arcilla y depende del tipo y contenido de material arcilloso presente. Solamente las porciones reactivas de la arcilla son involucradas, y materiales tales como la caliza finamente molida, arena o barita, no absorben el azul de metileno. Este método difiere de otros en que se obtiene una lectura directa de la capacidad de intercambio catiónico.

Aparte de sus aspectos analíticos, el equipo para la prueba de azul de metileno, se usa como una herramienta de control e investigación para relacionar la capacidad de intercambio con las propiedades físicas de los materiales arcillosos contenidos en el fluido de perforación.

### CONOCIMIENTOS PREVIOS REQUERIDOS

1. **Capacidad de Intercambio catiónico.** Es la cantidad de cationes por peso de unidad de arcilla.
2. **Unidades para medir la CEC.** La capacidad de intercambio catiónico o CEC (por sus siglas en inglés), se expresa en miliequivalentes por cada 100 gramos de arcilla seca (meq/100g).
3. **Rango de la CEC para algunas arcillas.** El CEC de las montmorillonitas está dentro del rango de 80 a 150 meq/100g de arcilla seca. El CEC de las illitas y cloritas está alrededor de 10 a 40 meq/100g, y para las kaolinitas se encuentra entre 3 y 10 meq/100g.

### MATERIAL Y EQUIPO.

- Frasco Erlenmeyer de 250-ml
- Jeringa 10-ml. (sin aguja)
- Dos pipetas de 1-ml
- Cilindro graduado de 25-ml
- Varilla agitadora
- Calentador eléctrico
- Agua destilada
- Solución de azul de metileno (3.74 g/L; 1 ml = 0.01 meq)
- Solución peróxido de hidrógeno 3%
- Solución ácido sulfúrico 5N
- Papel de filtro API



Figura 3.17 Equipo para prueba con azul de metileno

### PROCEDIMIENTO

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

- a) Recoger una muestra de fluido.
- b) Agregar 10 ml de agua destilada en el frasco Erlenmeyer.
- c) Transferir 1 ml de la muestra de fluido al frasco Erlenmeyer; mover en redondo el frasco para dispersar la muestra.
- d) Agregar a la mezcla 15 ml de la solución de peróxido de hidrógeno.
- e) Agregar a la mezcla 0.5 ml de la solución de ácido sulfúrico.
- f) Colocar el frasco sobre el calentador hasta que hierva la mezcla, y hervir la mezcla a fuego lento durante 10 minutos.
- g) Retirar el frasco del calentador y diluir la mezcla a 50 ml con agua destilada. Dejar enfriar la mezcla.
- h) Agregar a la mezcla 0.5 ml de solución de azul de metileno.
- i) Agitar el contenido del frasco Erlenmeyer durante unos 20 segundos.
- j) Transferir con la varilla agitadora una gota de la mezcla al papel de filtro.

Si la gota...	Luego...
Forma un halo azul	Ir al Paso 11.
No forma un halo azul	Repetir los Pasos 8 - 10.

- k) Agitar la mezcla durante 2 minutos.
- l) Transferir con la varilla agitadora una gota de la mezcla al papel de filtro.

Si la gota...	Luego...
Forma un halo azul	Este es el punto final. Ir al Paso 13.
No forma un halo azul	Repetir los Pasos 8 - 12.

- m) Registrar el volumen de solución de azul de metileno usada para llegar al punto final.
- n) Calcular el CEC del azul de metileno.

$$CEC, \text{ meq/mL del fluido} = \frac{\text{mL de solución de azul de metileno}}{\text{mL de muestra del fluido}}$$

- o) Calcular el contenido equivalente de bentonita.

*Contenido equivalente de bentonita,*

$$lb/bbl = 5 \times (CEC)$$

$$kg/m = 14 \times (CEC) \quad 3$$

#### DIAGRAMAS DESCRIPTIVOS.

Los alumnos deberán realizar los diagramas correspondientes a los equipos empleados y a la forma en que se realizó el experimento.

#### RESULTADOS.

Los alumnos vaciarán sus resultados en la siguiente tabla:

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**TABLA DE RESULTADOS**

	Equipo	Vol. de azul de Metileno empleado	CEC del azul de metileno	Contenido equivalente de bentonita
Fluido 1	1			
	2			
	3			
Fluido 2	1			
	2			
	3			
Fluido 3	1			
	2			
	3			
Fluido 4	1			
	2			
	3			

**CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES.**

**BIBLIOGRAFÍA.**

## PRÁCTICA #13

### “Contenido de cloruros”

#### OBJETIVO

Determinar el contenido de cloruros de un fluido de perforación base agua o fluido de terminación/repelación.

#### INTRODUCCIÓN

Para determinar el contenido de cloruros de un lodo de perforación, se titula una muestra de filtrado del lodo con una solución estándar de nitrato de plata, usando cromato de potasio como indicador.

El nitrato de plata precipita el ión cloruro como cloruro de plata; cuando está completamente precipitado, la adición de más nitrato de plata produce un color rojo, cromato de plata, el cual se toma como punto final. Los resultados se reportan como partes por millón (ppm) de ión cloruro ( $\text{Cl}^-$ ). Este es un valor nominal, como lo son todos los valores reportados en ppm cuando se prueba un volumen medido de muestra, en lugar de un peso medido. El verdadero valor en ppm puede obtenerse dividiendo el valor de la titulación entre la densidad de la mezcla, la diferencia es generalmente despreciable, excepto para muestras con un alto contenido de cloruros. Todos los cloruros presentes en el filtrado, como son los cloruros de magnesio, calcio y sodio, son determinados y reportados como cloruros.

#### CONOCIMIENTOS PREVIOS REQUERIDOS

1. **Factor gravimétrico.** Es la relación existente entre el peso fórmula de la sustancia buscada y el peso fórmula de la sustancia que se obtiene cuando es pesada.

2. **Saturación.** Se dice que una disolución está saturada con respecto a un determinado soluto, cuando contiene la mayor cantidad de dicho soluto que es posible esté disuelto en cierta cantidad de disolvente a una temperatura dada.
3. **Partes por millón.** Las partes por millón se utilizan para determinar la concentración de una sustancia química en un volumen determinado. Se obtiene al dividir el volumen en un millón de partes iguales; cada millonésima parte de este volumen correspondiente a la sustancia de nuestro interés, se considera una parte por millón de la sustancia.
4. **Salmuera.** Es una solución consistente en agua como elemento solvente con cloruro de sodio (soluto) en gran cantidad de manera que es imposible su total dilución.
5. **Floculación.** Es el acto de unir físicamente partículas micrométricas en grandes aglomeraciones; las cuales pueden separarse del fluido de perforación por métodos mecánicos y químicos. La floculación es el único método para remover los sólidos de tamaño coloidal que se producen durante la perforación, los cuales son sumamente perjudiciales en el avance de la perforación.
6. **Normalidad.** La normalidad es el modo de expresar la cantidad de una sustancia que existe en una disolución de concentración determinada.
7. **Titulación volumétrica y principios que la rigen.** Es el método por el que se determina una cantidad desconocida de una sustancia en particular mediante la acción de un reactivo patrón que reacciona con ella en proporción definida y conocida.

**MATERIAL Y EQUIPO.**

- Plato de titulación
- Pipeta de 1-mL.
- Pipeta de 10-mL.
- Varilla agitadora
- Solución indicadora de cromato de potasio
- Solución ácido sulfúrico 0.02N (N/50)
- Solución indicadora de fenolftaleína
- Agua destilada 0.0282N (1 ml = 0.001g Cl<sup>-</sup>/ml) ó 0.282N (1 ml = 0.01g Cl<sup>-</sup>/ml) solución de nitrato de plata (AgNO<sub>3</sub>).



Figura 3.18 Laboratorio Portátil

Si se está probando un ...	Usar...
Sistema de agua dulce	0.0282N AgNO <sub>3</sub>
Sistema de agua salada	0.282N AgNO <sub>3</sub>

**PROCEDIMIENTO.**

1. Recoger muestra de filtrado usando el método de filtrado API.
2. Transferir 1 ml o más de filtrado al plato de titulación. Tomar nota del color del filtrado para el Paso 6.

3. Agregar 20 a 50 ml de agua destilada al filtrado del plato de titulación.

4. Agregar 10 a 15 gotas de solución indicadora de fenolftaleína.

Si...	Luego...
El color cambia a rosado o rojo	Ir al Paso 5.
No se observa cambio de color	Ir al Paso 6.

5. Agregar lentamente la solución de ácido sulfúrico en el plato de titulación hasta que el color cambie de rosado o rojo al color original.

6. Agregar de 5 a 10 gotas de solución indicadora de cromato de potasio.

7. Llenar la pipeta de 10 ml con la solución de nitrato de plata.

8. Agregar la solución de nitrato de plata en el plato de titulación hasta que el color cambie de amarillo a naranja o naranja-rojo.

9. Registrar la cantidad en ml de solución de nitrato de plata usada.

10. Calcular el contenido en cloruro usando la tabla que sigue.

Si se usa...	Los mg/L de contenido en cloruro son...
0.0282N AgNO <sub>3</sub>	(1,000 × mL 0.0282N AgNO <sub>3</sub> ) ÷ ml filtrado
0.282N AgNO <sub>3</sub>	(10,000 × mL 0.282N AgNO <sub>3</sub> ) ÷ ml filtrado

11. Calcular la concentración de sal en el fluido usando la tabla que sigue.

Si la sal es...	Los mg/L de sal son...
Sal de mar	1.804 × mg/L Cl <sup>-</sup>
Cloruro de sodio (NaCl)	1.648 × mg/L Cl <sup>-</sup>
Cloruro de potasio (KCl)	2.103 × mg/L Cl <sup>-</sup>
Cloruro de calcio (CaCl <sub>2</sub> )	1.565 × mg/L Cl <sup>-</sup>

*Nota: La concentración de sal en lb/barril se puede calcular usando la fórmula siguiente:  
lb/bl sal = mg/L sal  $\times$  3.505  $\times$  10<sup>-4</sup>*

12. Calcular peso específico de salmuera usando la tabla siguiente.

Si la sal es...	El peso específico de la salmuera será...
Sal de mar	$0.998 + (1.359 \times 10^{-6}) (\text{mg/L Cl}^-) - (1.643 \times 10^{-12}) (\text{mg/L Cl}^-)^2$
Cloruro de sodio (NaCl)	$0.998 + (1.142 \times 10^{-6}) (\text{mg/L Cl}^-) - (4.926 \times 10^{-13}) (\text{mg/L Cl}^-)^2$
Cloruro de potasio (KCl)	$0.998 + (1.312 \times 10^{-6}) (\text{mg/L Cl}^-) - (5.970 \times 10^{-13}) (\text{mg/L Cl}^-)^2$
Cloruro de calcio (CaCl <sub>2</sub> )	$0.998 + (1.243 \times 10^{-6}) (\text{mg/L Cl}^-) - (3.715 \times 10^{-13}) (\text{mg/L Cl}^-)^2$

13. Calcular el % de sal en volumen usando la tabla siguiente.

Si la sal es...	El porcentaje de sal en volumen es (% de sólidos disueltos en volumen)...
Sal de mar	$[7.368 \times 10^{-6} + 4.804 \times 10^{-7} \times (\text{mg/L Cl}^-) + 1.401 \times 10^{-12} \times (\text{mg/L Cl}^-)^2] \times \% \text{ de agua en volumen}$
Cloruro de sodio (NaCl)	$[-3.025 \times 10^{-4} + 5.068 \times 10^{-7} \times (\text{mg/L Cl}^-) + 4.96 \times 10^{-13} \times (\text{mg/L Cl}^-)^2] \times \% \text{ de agua en volumen}$
Cloruro de potasio (KCl)	$[-2.479 \times 10^{-4} + 7.922 \times 10^{-7} \times (\text{mg/L Cl}^-) + 6.011 \times 10^{-13} \times (\text{mg/L Cl}^-)^2] \times \% \text{ de agua en volumen}$
Cloruro de calcio (CaCl <sub>2</sub> )	$[-5.538 \times 10^{-4} + 3.181 \times 10^{-7} \times (\text{mg/L Cl}^-) + 3.795 \times 10^{-13} \times (\text{mg/L Cl}^-)^2] \times \% \text{ de agua en volumen}$

### DIAGRAMAS DESCRIPTIVOS.

Los alumnos deberán realizar los diagramas correspondientes al equipo empleado y a los pasos que siguieron para realizar la práctica.

**RESULTADOS.**

	Equipo	Vol. de Nitrato de Plata empleado	Contenido de cloruros	% de sal en volumen
Fluido 1	1			
	2			
	3			
Fluido 2	1			
	2			
	3			
Fluido 3	1			
	2			
	3			
Fluido 4	1			
	2			
	3			

**CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES.**

**BIBLIOGRAFÍA.**

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## CAPÍTULO IV

# ARCILLAS UTILIZADAS EN LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN

## INTRODUCCIÓN

La habilidad que tienen los fluidos de perforación para desempeñar sus funciones y exhibir las propiedades deseadas depende de la naturaleza coloidal de los componentes empleados en su elaboración. La química de los fluidos coloidales de perforación mejor conocidos como "lodos" está cambiando constantemente debido a que la proporción existente entre los "coloides comerciales" añadidos desde la superficie y los sólidos provenientes de las formaciones siempre está variando. Es por esta razón que los tratamientos son de proporciones indefinidas debido a que los químicos utilizados pueden haber sido filtrados hacia la formación, diluidos o tal vez alterados debido a las condiciones de presión y temperatura existentes en el pozo.

El término "coloide" se deriva de la palabra griega *kolle*, que significa "pegamento". Este término agrupa a una amplia variedad de materiales que pueden permanecer suspendidos en algunos medios debido a que sus partículas son de un tamaño extremadamente pequeño y a sus fuerzas superficiales. Ejemplos de estos materiales en los lodos son la bentonita, algunas arcillas de las formaciones, el almidón, la carboxymetilcelulosa sódica, las gotas de la emulsión agua-aceite, así como las gomas naturales o modificadas.

Las partículas coloidales son menores a una micra, la cual equivale a la millonésima parte de un metro, algunos coloides pueden ser tan pequeños como  $0.001\mu$ ; debido a que la longitud promedio de onda de la luz visible es de  $0.5\mu$ , y la mayoría de los coloidales son más pequeños, no pueden distinguirse con un microscopio óptico. Aunque los coloides son extremadamente pequeños, son muchas veces más grandes que las moléculas disueltas ordinarias, como el azúcar.

Los coloides que adsorben enormes cantidades de un líquido y se expanden o hinchan son llamados liofílicos o emulsoides. Si el líquido es agua, se llaman hidrofílicos. La adsorción de cualquier líquido se llama solución; mientras que la adsorción de agua se llama hidratación. Los coloides que no adsorben mucho líquido pero permanecen en

suspensión debido a las fuerzas eléctricas superficiales se llaman liofóbicos o suspenoides; si el líquido es agua, se llaman hidrofóbicos.

Una suspensión coloidal es estable, si las partículas permanecen suspendidas por largos periodos de tiempo.

Debido al tamaño de partícula extremadamente pequeño de los coloides, se expone una gran cantidad de área superficial en una pequeña porción de masa; por ejemplo, un gramo de montmorillonita de sodio tiene un área de superficie de capa total de  $750 \text{ m}^2$ .

Si la combinación de las cargas eléctricas desbalanceadas y el agua adsorbida es mayor que la atracción existente entre las partículas, los coloides tienden a repelerse entre sí, ayudados por los impactos con las moléculas de líquido que permanecen en suspensión. Si las fuerzas de las cargas eléctricas desbalanceadas no producen un efecto repelente entre las partículas y si la hidratación no es completa, las partículas pueden tener la tendencia a unirse si chocan y pueden atraerse y asentarse. Si esto ocurre naturalmente o es ocasionado por químicos que alteren fácilmente el entorno eléctrico, la suspensión coloidal es inestable.

Las arcillas más usadas son:

**A) BENTONITA.**

Por lo que respecta a su origen parece haber sido primario, puesto que los sedimentos tobáceos al ser transportados y depositados en un medio acuoso, se vieron sujetos a fuertes alteraciones por desvitrificación de estas tobas volcánicas bajo el efecto conjunto de las aguas alcalinas formadas por la lixiviación de las cenizas y acompañada de emanaciones ácidas, cargadas de ácidos sulfurosos y fluorhídricos; además las emanaciones carbónicas de las calizas presentes favorecen a la sustitución de bases dando origen a la formación de silicatos de alúmina hidratados, gelatinosos y coloidales, (llamados bentonita) de forma lenticular que guardan relaciones concordantes con el resto de la formación.

Probablemente la bentonita se deriva de cenizas volcánicas más o menos alteradas por acciones hidrotermales. Se halla también en los terrenos arcillosos originados por la alteración de los granitos y rocas eruptivas pobres en sílice.

La explotación de bentonita en México, se realiza principalmente en los yacimientos localizados en los estados de: Durango, Guerrero, Puebla, Querétaro, Morelos, Oaxaca y Nuevo León. Mientras que uno de los mayores depósitos de esta ceniza volcánica ocurrió hace 60 millones de años aproximadamente, en las hoy llamadas Colinas Negras de Wyoming y Dakota del Sur; así como en las montañas del Gran Cuerno de Wyoming, en Norteamérica.

La bentonita pertenece a la familia mineralógica de las esmectitas y químicamente es un silicato de aluminio y magnesio. Es un mineral abundante en la naturaleza y está compuesta de arcilla montmorillonita mineral. Esta arcilla mineral (montmorillonita de sodio) proporciona la viscosidad y características de pérdida de agua, que son vitales en los lodos de agua dulce debido a la propiedad de hidratación de la bentonita; la cual consiste en la habilidad de aumentar varias veces su tamaño original en los lodos de agua dulce.

La montmorillonita es una arcilla de tres capas expansibles, en la hoja tetraedral el silicio es a veces parcialmente reemplazado por aluminio, en la hoja octaedral hay reemplazo de aluminio por magnesio, hierro, zinc, potasio u otros átomos. En muchos minerales un átomo de baja carga positiva reemplaza a uno de carga más alta, dando como resultado un déficit de carga positiva, lo cual es compensado por la absorción de cationes (+) en la superficie de las capas.

En presencia de agua, la compensación de cationes (+) en las capas superficiales puede facilitar el intercambio por otros cationes cuando estén en solución los cuales son llamados cationes intercambiables. En las capas que constituyen una partícula de montmorillonita, los cationes intercambiables se localizan en cada lado de las capas de cada unidad en el conjunto y por lo tanto el intercambio de cationes no se localiza únicamente en la superficie externa de la partícula, sino también entre las capas.

Estas arcillas pueden, por otra parte, dividirse en dos grupos; uno, la bentonita propiamente dicha, que contiene alúmina resistente al ácido sulfúrico y por otra parte la sub-bentonita, que contiene alúmina atacable por el ácido sulfúrico. De acuerdo a la propiedad que presentan las moléculas de absorber el agua, se clasifican en expansibles y no expansibles. Las primeras contienen altas cantidades de álcalis, predominando el sodio, las no expansibles, se conocen como sub-bentonitas, predomina el calcio.

#### *Mecanismos de hidratación*

El primer mecanismo de hidratación se da en la superficie y es del tipo residual; y se inicia en el momento en que la bentonita se pone en contacto con el agua; penetrando ésta en la unidad de capas y es fijada por adsorción en las partes superior e inferior de la estructura.

Cuando las hojas planas de montmorillonita son expuestas al agua, las moléculas de agua son adsorbidas en las superficies de la capa de sílice; conforme prosigue la adsorción, las capas son alejadas entre sí, esto es llamado hinchamiento entre capas y es controlado por el catión asociado particularmente a la estructura.

La cantidad de agua adsorbida y el grado de expansión, en unidades ángstrom (Å) las cuales se relacionan con la distancia existente entre el catión y la superficie de la arcilla. Si el catión es sodio, el hinchamiento entre las capas puede ir de 9.8 Å cuando la arcilla está expuesta a aire seco hasta un máximo de 40 Å cuando la arcilla está completamente hidratada. En cambio, si el catión reemplazable es calcio, el hinchamiento entre las capas varía de entre 11.8 Å en el estado seco, hasta cerca de 18 Å.

Esta diferencia de espaciamiento en el estado seco entre la montmorillonita de sodio o de calcio, se debe a que el catión de sodio no se hidrata, mientras que, el catión de calcio tiene una capa de agua molecular FIGURA 4.1. conforme esta adsorción de agua molecular continua las capas de arcilla tienden a separarse, con lo que se expone más área superficial

para la hidratación; si este proceso se aproxima a la máxima exposición de todas las áreas superficiales, la solución se vuelve viscosa.

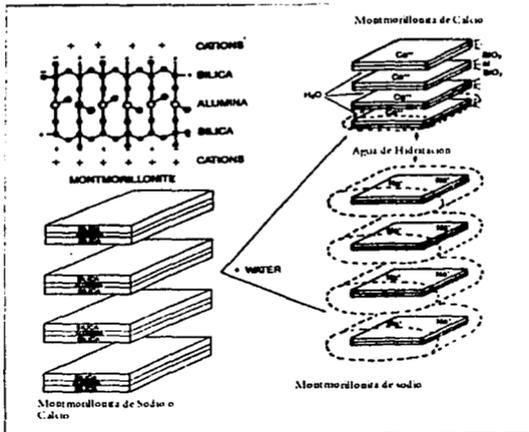


Fig. 4.1 Primer Mecanismo de Hidratación

El segundo mecanismo de hidratación es debido a lo que se conoce con el nombre de "rotura de la unión por agua"; la cual consiste en que al agua se va absorbiendo por las esquinas y orillas de las unidades repartiendo las cargas de iones no saturadas, hasta que las partículas de arcilla se quiebran o parten como resultado de las fuerzas de corte, propiciando que al permanecer en reposo la bentonita se hidrate más, adquiriendo un mayor espacio.

Este segundo aspecto de hidratación es resultado de las fuerzas de corte que rompen los enlaces químicos de las estructuras de arcilla en sus bordes y esquinas. Como se muestra en la FIGURA 4.2, las valencias expuestas pueden ser átomos de silice positivos, átomos de oxígeno negativos o ambos; dependiendo de donde ocurra la ruptura en la estructura arcillosa.

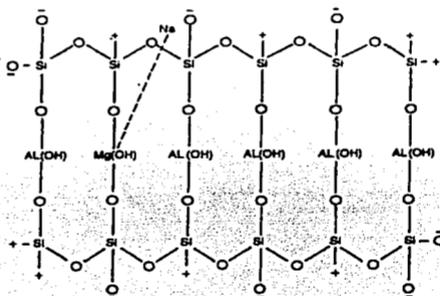


Fig. 4.2 Segundo mecanismo de Hidratación

El agua absorbida por estos iones libres es llamada "Agua de rotura" y posteriormente disminuye la cantidad de agua libre disponible, lo cual explica el porqué se incrementa la viscosidad de las lechadas de bentonita cuando se aplican esfuerzos de corte.

Las dos fuerzas activas involucradas en la preparación de una suspensión coloidal de bentonita son las eléctricas y las mecánicas. Las fuerzas eléctricas son una combinación de las cargas negativas planares y de las cargas positivas y negativas resultantes de las rupturas de los enlaces químicos en las orillas y esquinas. Las cargas negativas predominan en el proceso de hidratación. Las fuerzas de repulsión creadas por las cargas iguales tienden a forzar la separación de las partículas laminares, permitiendo con esto la entrada de más agua entre las capas hasta que se alcanza un valor de equilibrio entre la distancia del catión intercambiable y la superficie planar. La existencia de la bentonita como una partícula cargada negativamente ha sido demostrada por medio de mediciones del potencial zeta.

El tercer mecanismo, es la hidratación de la superficie, cuando penetra suficiente agua entre las capas propiciando el intercambio de cationes y redundando en una repulsión

entre la mismas, lo que provoca que más agua entre en medio de las hojas hidratando cada vez más a la lutita.

#### NORMA API QUE DEFINE LA CALIDAD DE LA BENTONITA

La calidad API de la Bentonita se considera que cumple con esta especificación si una muestra representa no más de un día de producción conforme a los requerimientos físicos de la siguiente tabla:

**Tabla 4.1 Requerimientos Físicos de la Bentonita**

REQUISITOS	ESPECIFICACIÓN
Lectura del Viscosímetro a 600 r.p.m.	30 mínimo
Relación punto de cedencia/ viscosidad plástica	3 máximo
Volumen de filtrado	15 cm <sup>3</sup> máximo
Residuos Mayores a 74 micrómetros	4% máximo en peso
Humedad	10% máximo en peso

#### NORMA INTERNACIONAL / EUROPEA QUE DEFINE LA CALIDAD DE LA BENTONITA

La calidad de la Bentonita Internacional / Europea es arcilla montmorillonítica común que por naturaleza de sus fuentes no cumple con todas las condiciones de las especificaciones del boletín 13-A sección 1 del API.

**TABLA 4.2 NORMA INTERNACIONAL DE CALIDAD DE LA BENTONITA**

REQUISITOS	ESPECIFICACIÓN
Lectura del Viscosímetro a 600 r.p.m.	30 mínimo
Punto de cedencia, lb/100pie <sup>2</sup>	Viscosidad plástica 6 veces máximo
Filtrado relativo 30 min.	16.0 cm <sup>3</sup> máximo
Análisis de la tcla metálica húmeda. Residuos en cedazo US No. 200	2.5% máximo
Humedad, como se recibe desde el lugar de manufactura	13.0% máximo

**B) ATAPULGUITA.**

Mineral natural de origen sedimentario o metamórfico con excelentes propiedades absorbentes o reológicas para su utilización como absorbente higiénico para animales de compañía, absorción de derrames o para lodos de perforación, tratamiento de residuos y farmacia.

Pertenece a la misma familia mineralógica que la sepiolita y químicamente es un silicato de aluminio y magnesio, también con estructura acicular; ya que consiste en una doble cadena de sílice paralelas, cuyos eslabones se juntan a través de oxígeno en sus filos longitudinales y la forma de sus elementos es de tetraedros y octaedros.

El elaboramiento de la cadena forma una hoja de doble enlace a intervalos arriba y debajo de la hoja. El enlace entre las hojas se hace por un hidróxido de aluminio o un silicato de magnesio en coordinación octaedral.

La atapulguita es un mineral bastante abundante en la naturaleza y se usa principalmente en agua que contiene muy altas concentraciones de electrolitos disueltos, ya que las propiedades de viscosidad y filtración de la bentonita son poco eficientes en tales

aguas. Como las partículas de Bentonita, las partículas de atapulguita son de tamaño muy pequeño y el área superficial de dichas partículas dispersadas es muy grande.

A diferencia de la bentonita, las partículas de atapulguita se asemejan a agujas, más que a placas, por lo que la propiedad de dar viscosidad de la atapulguita, depende de lo enredado de estas partículas, lo desorganizado de las mallas de estas partículas de atapulguita también explica las pobres propiedades de filtración de las suspensiones, ya que la forma o estructura de agujas de las partículas no es favorable para la formación de enjarres delgados o impermeables.

### **C) SEPIOLITA.**

Mineral natural no metálico de origen sedimentario que se destaca por sus propiedades sorbitivas y reológicas. Es una arcilla ligera, porosa, con gran superficie específica y escasa actividad química. La apariencia del mineral es compacta y su estructura de carácter acicular. Razón por la cual es similar a la atapulguita pero difiere en espesor. Perteneció a la familia mineralógica de las Paligorskitas y químicamente es un silicato de magnesio hidratado.

La sepiolita presenta características morfológicas y fisicoquímicas peculiares que le permiten ser utilizada en aplicaciones muy variadas: Lechos para gatos, pinturas, residuos industriales, gunitado, cosmética, fricción, catálisis, fertilizantes, asfaltos, lodos de perforación, aislamientos acústicos e impermeabilizantes, absorción y filtración industrial, control de humedad, soportes, decoloración, alimentación animal, plásticos, caucho, construcción.

No es un mineral abundante en la naturaleza y el yacimiento de mejor calidad y mayor homogeneidad se encuentra en la cuenca del Tajo, en España.

#### D) BARITA

Se le conoce como Sulfato de Bario o Baritina; su fórmula química es  $BaSO_4$ . La Barita pura contiene 65.7% BaO y 24.3% SiO.

En su forma comercial, puede tener impurezas tales como: silicatos, óxidos de fierro, calizas, dolomitas, lutitas, etc.

Es insoluble en agua, tiene una dureza de 2.5 a 3.5 en la escala de Mohs, y tiene un peso específico de 4.2 a 4.4. su color varía de blanco o gris claro a rojo o café, dependiendo de las impurezas contenidas.

Es un mineral que tiene rayas blancas y un brillo aperlado y comúnmente se presentan como cristales ortorómbicos de la clase piramidal.

Geológicamente, se cree que la barita tiene su origen como una deposición de agua caliente circulante desde una gran profundidad y se encuentra en cuatro principales tipos de depósito.

1. Calizas y otras rocas sedimentarias.
2. Como nódulos residuales en arcillas.
3. En yacimientos de reemplazo de calizas y lutitas.
4. Como materiales de ganga en vetas metalíferas.

Después de que se ha encontrado un depósito de barita, se debe llevar a cabo un extenso programa de evaluación, se recolectan muestras y se efectúan pruebas de beneficio para obtener la factibilidad económica del producto.

Además de producir barita en los depósitos, también se puede obtener como subproducto en la explotación de algunos otros minerales; aunque en cantidades poco significativas.

Los depósitos estratificados redituables económicamente por lo general, son de grises a negros y se pueden extender por muchas hectáreas con un espesor arriba de los 30 metros. La barita en esos depósitos es de grano fino, siendo sus principales impurezas pequeñas partículas de cuarzo y pequeñas cantidades de arcilla y piritita.

Los principales países productores de barita son: Estados Unidos, Irlanda, Chile, Marruecos, Tailandia y México.

En el caso de nuestro país, algunos de los yacimientos de barita más importantes, se encuentran en los estados de:

- o Coahuila.
- o Chihuahua.
- o Durango.
- o Nuevo León.
- o Oaxaca.
- o Zacatecas, etc.

#### ESPECIFICACIONES QUE DEBE CUMPLIR LA BARITA PARA SU APLICACIÓN Y LIMITACIONES

La Barita en la industria petrolera mexicana, se utiliza como agente densificante en los fluidos de perforación, reparación y terminación de pozos.

Para esto debe cumplir con ciertas especificaciones, tanto físicas como químicas, dichas especificaciones son las siguientes:

**TABLA 4.3 ESPECIFICACIONES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LA BARITA**

<b>ANÁLISIS FÍSICOS:</b>	<b>ESPECIFICACIONES</b>
- Densidad en gr./cm <sup>3</sup>	4.23 mínimo
<b>GRANULOMETRÍA:</b>	<b>ESPECIFICACIONES</b>
- Retenido en malla 200 ASTM (abertura de 0.074 mm) en %	4.0 máximo
- Retenido en malla 325 ASTM (abertura de 0.044 mm) en %	8.5 mínimo
<b>ANÁLISIS QUÍMICO:</b>	<b>ESPECIFICACIONES</b>
- Sólidos solubles como ión calcio en PPM.	300.0 máximo
- Partículas menores a 6 micrómetros en diámetro esférico equivalente	30% máximo

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## CAPÍTULO V

# CONTAMINANTES Y CONDICIONES ESPECIALES QUE AFECTAN LAS CARACTERÍSTICAS DE UN LODO DE PERFORACIÓN

### *Alto Contenido de Sólidos*

Uno de los datos de mayor importancia para los Ingenieros de Fluidos, es saber la cantidad de sólidos de bajo peso específico que se encuentran presentes en el lodo, ya sean arcillas, almidones, driscosa, etc.

Los lodos de perforación son dispersiones de distintos materiales: unos de ellos bentonitas, arcillas y hasta kaolines que se encuentran en estado coloidal, debido a su gran división (0.1 a 0.001 de micra); otros, como las mismas arcillas, arena, baritas, etc., atendiendo a su tamaño e insolubilidad, están suspendidas en el coloide.

Al perforar algunos estratos, especialmente los de lutitas en distintos grados de consolidación, se presenta el problema de que las partículas que alcanzan los tamaños descritos anteriormente, se incorporan a la fase sólida del lodo con el consiguiente aumento en la viscosidad, gelatinosidad, disminución en el filtrado, ya que los aluminio-silicatos (lutitas) son coloides liófilos que adquieren inmediatamente las propiedades de hidratación, dispersión, carga eléctrica, tixotropía, etc.

Este problema se presenta especialmente en lodos sódicos o cálcicos que requieren alto peso específico y se exceptúan lodos especiales como lodos base aceite, lodos base agua salada, etc.

La adición de reactivos y los cambios de base en la mayoría de las ocasiones son para que el lodo pueda tolerar un porcentaje mayor de sólidos durante la perforación, sin perder sus propiedades de viscosidad, gelatinosidad, filtrado, etc.

Los sólidos de los lodos de perforación, se pueden agrupar en:

- Bentonitas, arenas y arcillas (2.2 a 2.7 gr/cc)
- Materiales inertes para aumentar la densidad del lodo como Barita (4.1 a 4.3 gr/cc)

### SÍNTOMAS:

1. Alta viscosidad que no mejora con los tratamientos químicos.
2. Baja pérdida de agua.
3. Formación de un enjarre grueso.

### DETECCIÓN Y TRATAMIENTO

Por medio de la retorta de destilación determinar correctamente el porcentaje en peso de los sólidos de bajo peso específico. (*Ver práctica No. 7 "Uso de la Retorta"*)

Ajustar estos sólidos por medio de la dilución o centrifugación del lodo.

*Sal*

La contaminación de los lodos bentoníticos no salinos con el cloruro de sodio, es sumamente frecuente en las operaciones ordinarias y su fuente puede ser: esteros salados por estar cerca del mar, porque al perforar se encuentren flujos de agua caliente y a alta presión o a la perforación de domos salinos dado que la solubilidad del cloruro de sodio es hasta de un 30% en peso dependiendo de la temperatura.

Si la contaminación no alcanza valores mayores a la concentración de 1% en peso las propiedades del lodo sódico quedarán dentro de los límites tolerables sin que se tenga que cambiar el tipo de lodo; ya que si la contaminación rebasa este porcentaje se debe cambiar el tipo de lodo debido a que de acuerdo con la ley de acción de las masas, el problema del NaCl con las bentonitas sódicas es el exceso del ión común que en este caso es el sodio. Si expresamos para simplificar la fórmula de la bentonita sódica por NaBe, podemos decir que la constante de disociación la podemos expresar por:

$$K = \frac{(Na^+)(Be^-)}{(NaBe)}$$

El exceso del ión sodio aumentará el numerador de la expresión y para que el valor de K no se altere, el denominador también deberá aumentar, lo que es lo mismo aumentará la floculación.

**SÍNTOMAS:**

1. Aumento rápido en el contenido de sal en el lodo (prueba en el filtrado)
2. Aumento inmediato de la viscosidad y Gelatinosidad. Después de algunas horas o quizás de un día, la viscosidad disminuye a valores menores que los ordinarios.
3. El filtrado aumenta rápidamente.

4. En el caso del flujo de agua salada, no controlado por la presión hidrostática del lodo, continuará saliendo después de que se han parado las bombas.

### TRATAMIENTO QUÍMICO

Si hay flujo de agua salada aumentar el peso del lodo tan rápidamente como sea posible vigilando cuidadosamente la pérdida de circulación. Sería conveniente agregar agentes obturantes como precaución y en caso necesario, al controlar el flujo, eliminarlos con las zarandas.

El peligro de las pegaduras de tubería es inminente por lo que debe protegerse la tubería de perforación en la tubería de revestimiento más próxima.

Si la contaminación por cloruro de sodio sobrepasa el 1%, se recomienda cambiar a un lodo base agua salada.

## Cemento

La diferencia fundamental de una contaminación con cemento con respecto a la ocasionada por las sales de calcio, estriba en que en la primera hay un aumento del pH debido a la presencia del hidróxido de calcio  $\text{Ca(OH)}_2$ , mientras que, en el segundo caso, la contaminación más frecuente se debe a los sulfatos:  $\text{CaSO}_4$  (anhidrita) o yeso  $\text{CaSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  y no aumenta el pH.

En el caso del cemento, como es una contaminación que puede ser prevenida, también el pre-tratamiento puede verse, especialmente cuando se cementan las tuberías de revestimiento, cuando se inyectan tapones de cemento o cuando la inyección de cemento se realiza a alta presión. Debe tenerse en cuenta que si se perfora el cemento totalmente endurecido la contaminación no es mayor del 5 al 10%, mientras que cuando se perfora al cemento semifraguado, la contaminación puede llegar a ser del orden del 50%.

### SÍNTOMAS:

- Incremento en la rapidez de Gelatinosidad y la fuerza de Gelatinosidad.
- Aumento del pH.
- Aumento de la viscosidad.
- Aumento del filtrado.

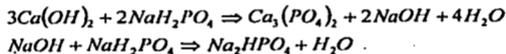
### **TRATAMIENTO**

El tratamiento se encaminará a eliminar, como un precipitado insoluble, los iones de calcio, a reducir el pH a un valor igual o parecido al anterior a la contaminación, redispersar los agregados floculados de arcilla y reemplazar con arcilla nueva cualquier material coloidal que no pueda restaurarse a su condición original.

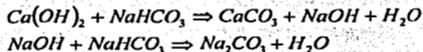
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

REACCIONES PRINCIPALES DE LOS TRATAMIENTOS CON:

1. Fosfato Monosódico



2. Bicarbonato de Sodio.



3. Quebracho. Puede agregarse quebracho, ya que este favorece la disminución de la viscosidad y gelatinosidad debido a la formación del tanato cálcico y prácticamente no reduce el pH.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

*Anhidrita*

La contaminación con anhidrita o con yeso será más o menos severa dependiendo del espesor de las capas perforadas pues pueden presentarse espesores que van desde unos cuantos centímetros hasta varios metros. Cuando sucede esto último, si fallan los métodos de eliminación del calcio por precipitación, entonces se debe utilizar lodos especiales.

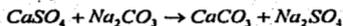
SÍNTOMAS:

- La viscosidad aumenta y disminuye rápidamente.
- Rápido aumento de la gelatinosidad, débil fuerza de gelatinosidad.
- Prácticamente no se forma lodo al estar perforando.
- Aumento del filtrado y del enjarre.

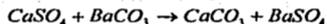
**TRATAMIENTO**

La precipitación y eliminación del calcio de la solución puede llevarse a cabo con:

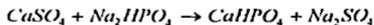
- Carbonato de Calcio.



- Carbonato de Bario.



- Fosfato disódico.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Se debe hacer tratamiento también con quebracho y sosa; pero con concentraciones extremadamente grandes de quebracho puede también retardar el efecto del Carbonato de Bario o eliminarlo.

### *Alta Temperatura*

De acuerdo con el gradiente de temperatura (grados centígrados / 100 metros), la temperatura en el fondo de los pozos profundos puede ocasionar problemas de consideración.

Debido a que en los tanques o presas superficiales está el lodo continuamente en agitación por los agitadores o pistolas, la temperatura es menor que la del fondo del pozo. sin embargo, puede tomarse como base de que una temperatura en el canal de salida del pozo mayor a 55 °C, acarrea trastornos; debido a que descompone a los polifosfatos hasta convertirlos en ortofosfatos que no reducen la viscosidad, lo que origina un tratamiento excesivo y un gasto inútil de reactivos.

El aumento excesivo en la temperatura del fluido reduce la viscosidad de la fase dispersante, lo que originará un aumento en la pérdida del fluido; además de que el aumento de la temperatura acelera las reacciones químicas; por lo que las contaminaciones con yeso o con cemento tienden a ser más pronunciadas.

## *Gas*

La presencia de gas en un lodo puede ocasionar desde una ligera disminución en la densidad del lodo, sin ninguna consecuencia, hasta un reventón imprevisto con la consecuente pérdida de equipo y del pozo.

A las primeras manifestaciones de gas debe disminuirse la viscosidad y la gelatinosidad con objeto de que ayude al equipo de desgasificación a su rápida eliminación a fin de que no se recircule. Este equipo de desgasificación consta principalmente de las llamadas "pistolas" o agitadores.

### SINTOMAS:

La primera indicación son pequeñas burbujas de gas que no se desprenden del lodo tan fácilmente y para observarlas mejor es conveniente mojar la mano en el lodo (para eliminar el aire) y posteriormente extendiéndolo en una capa delgada para su mayor observación.

Caso de mayor peligro:

- o Fuerte olor a gas en la línea de flujo.
- o Bolsas de gas que ocasionen que el flujo sea con cabeceos.
- o El destilado forma una emulsión con el lodo, lo que disminuye la efectividad del tratamiento químico.
- o El volumen de lodo en las presas aumenta indicando que el lodo bombeado al agujero es en menor volumen que el expulsado por el gas.

### TRATAMIENTO:

A la primera indicación definida de gas, las pistolas debe ponerse a funcionar, agregando material pesado para aumentar la presión hidrostática. Aumentar el tratamiento

químico para reducir la viscosidad y la rapidez de gelatinización del lodo; además de marcar las presas de lodo en su nivel con objeto de observarlas frecuentemente para detectar cualquier aumento o disminución.

En caso extremo deben cerrarse los preventores y descargarse el lodo a través de una válvula de aguja, lo que ocasiona la disminución en la circulación del lodo y por lo tanto la concentración del gas en un volumen pequeño.

La acción inmediata es la eliminación del gas en el lodo, cualquier retraso en el aumento del peso del lodo o en su tratamiento, puede ocasionar que se recircule el lodo contaminado con gas, lo cual aumenta el peligro de un reventón.

### *Arena*

Resulta perjudicial este contenido en la perforación de pozos petroleros, sobre todo, si se encuentra en cantidad considerable, ya que puede ocasionar enjarres muy gruesos, deteriorar las partes del equipo en contacto con el lodo (barrena, bombas, tubería de perforación, etc.); además de que se ocasionan grandes pérdidas de agua.

El porcentaje de arena no debe ser mayor del 2% en volumen y puede ser eliminado disminuyendo la gelatinosidad del lodo, haciendo canales largos o con mamparas, haciendo que el lodo fluya lentamente por las presas y que la descarga de presa a presa sea por arriba de las mismas, etc.

En ocasiones es necesario preparar volúmenes de lodo limpio para reducir en forma paulatina el porcentaje de arena. (*Ver práctica No. 9 Uso del elutiómetro*)

PRESIONES ANORMALES

Los fluidos que se encuentran en el subsuelo están sujetos a presiones correspondientes a la altura de una columna de agua ligeramente salada que va de la superficie a la formación de referencia y que está dada por:

$$P_a = \text{Altura}(H_2O) \times 1.05 \times 0.1$$

El lodo de perforación, de acuerdo con su peso específico y la profundidad, puesto que está en función directa de los dos, deberá ejercer la presión necesaria para mantener los fluidos en sus zonas nativas; por lo que para calcular la presión que ejercen en unidades del sistema métrico se calcula como:

$$P \left( \frac{Kg}{cm^2} \right) = d \left( \frac{gr}{c.c.} \right) \times h(m) \times 0.1$$

TEORÍA DE LAS PRESIONES ANORMALES

Es probable que se deba a la incompatibilidad de algunas formaciones para soportar la sobrecarga sin contraerse lo que resulta en una disminución del volumen del fluido en los poros de la formación. Si no hay escape, significa que la presión aumenta o de lo contrario esta presión se disipará a zonas de presión normal o bien hacia los afloramientos.

De acuerdo con los datos teóricos y de infinidad de pozos hay una desviación de las presiones normales que aproximadamente comienza a los 2,500 metros y tiene una tendencia a alcanzar un valor máximo de 2.03 peso específico, como lo demuestra la línea punteada en la misma gráfica.

Otro caso de presión anormal puede originarse por reacciones químicas que desdoblan las cadenas de hidrocarburos.

Generalmente las presiones anormales implican lodos de alto porcentaje de sólidos (elevado peso específico) y ocasionan pérdidas de circulación por la formación de fracturas inducidas.

## CAPÍTULO VI

# CÁLCULOS BÁSICOS PARA EL MANEJO DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN

## INTRODUCCIÓN

Además de conocer las propiedades que deben tener los fluidos de perforación para cumplir cabalmente con todas sus funciones; otro aspecto importante que debe tomarse en cuenta es que el alumno aprenda por medio de la realización de problemas la forma en que deben realizarse algunos de los cálculos necesarios para definir los volúmenes de fluido requerido en el espacio anular y las tuberías de perforación, de acuerdo a las características de éstas; como son la longitud, el diámetro y el peso. Además de ecuaciones que permiten el control de los materiales utilizados para acondicionar el lodo de acuerdo a las densidades requeridas por las formaciones y el tipo de flujo que se desarrolla debido a las propiedades Reológicas y tixotrópicas del lodo; para de esta manera optimizar las operaciones que se realizan constantemente dentro de la perforación de pozos.

### CÁLCULOS PARA DEFINIR LOS VOLÚMENES REQUERIDOS EN EL INTERIOR DE LA SARTA DE PERFORACIÓN Y ESPACIOS ANULARES DE ACUERDO CON LAS PROFUNDIDADES.

La capacidad de la tubería, del agujero y del espacio anular, se pueden definir como el volumen de lodo por cada unidad de longitud a la profundidad a la cual el lodo se encuentre. Esta capacidad depende principalmente de la sección transversal del agujero, determinándose por la longitud y el diámetro del mismo. La capacidad de la tubería está determinada por su diámetro interno (DI); mientras que la capacidad del espacio anular se determina por la diferencia entre el diámetro del agujero y el diámetro externo (DE) de la tubería utilizada; esto se logra mediante la realización de un análisis del estado mecánico del pozo con el que se esté trabajando.

*Desplazamiento de la tubería:* Es el volumen de lodo desplazado por cada unidad de longitud, al encontrarse la tubería dentro del lodo de perforación; y debe determinarse cuando la tubería se desplaza dentro y fuera del agujero. Debido a que a medida de que se saca la tubería del pozo, el nivel del fluido dentro del mismo disminuye

debido a que el volumen de acero de la tubería desplaza una cierta cantidad del fluido, el nivel del mismo decrece y por consecuencia la presión hidrostática.

Por esto, se debe llenar el pozo periódicamente, para que evitemos un posible brote; lo cual se vuelve más crítico, cuando se saca herramienta (de mayor desplazamiento), como los lastrabarreras o la tubería más pesada.

De acuerdo con las normas del American Petroleum Institute (API por sus siglas en inglés), al estar sacando la tubería, debe llenarse el espacio anular con fluido, antes de que la presión hidrostática de la columna acuse una disminución de  $5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ , o cada cinco lingadas de tubería de perforación, lo que da un decremento menor en la presión hidrostática.

Esto implica que se le debe indicar al perforador el número de lingadas de tubería de perforación o lastrabarreras que se pueden sacar del pozo antes de llenar nuevamente el espacio anular, así como el fluido requerido para llenar el pozo cada vez que se realice un viaje de tubería.

*Sondeo del pozo al sacar tubería.* El efecto de sondeo se refiere a la acción de pistón y cilindro que ejerce la sarta de perforación dentro del pozo; es decir, cuando se mueve la sarta hacia arriba, ésta tiende a levantar el fluido con mayor rapidez que la que el fluido tiene para caer por la sarta y la barrena.

En ocasiones la barrena o los estabilizadores se "taponan" con sólidos de la formación, haciendo más crítico este efecto.

Si esta reducción de presión es lo suficientemente grande como para disminuir la presión hidrostática efectiva a un valor por debajo de la presión de la formación, dará origen a un desequilibrio que puede causar un brote.

Entre las variables que influyen en el efecto de sondeo se encuentran:

1. Velocidad de extracción de la tubería.
2. Propiedades reológicas (viscosidad, alta gelatinosidad, enjarre grueso)
3. Geometría del pozo.
4. Estabilización de la sarta.

El valor obtenido será una indicación del volumen de acero de la tubería y se determina por el diámetro externo, interno y las juntas en las tuberías.

Por lo que, la capacidad y el desplazamiento se obtendrán a partir de la siguiente fórmula:

$$\text{Desplazamiento} = \text{Capacidad} = \frac{\text{Volumen}}{\text{longitud (unitaria)}}$$

El volumen del agujero, de la tubería y del espacio anular (diferencia de áreas), puede ser determinado de la siguiente forma:

$$\text{Volumen} = \text{Área transversal} \times \text{longitud total de la tubería}$$

$$\text{Volumen} = \frac{\pi d^2}{4} \times \text{unidad de longitud}$$

Debido a que generalmente se proporcionan los diámetros en pulgadas y las longitudes en pies, se deben realizar las siguientes conversiones para obtener los volúmenes en barriles (bls):

$$\text{Volumen [bls]} = \frac{\pi \times d^2 [\text{pg}^2] \times l [\text{pie}]}{4} \times \frac{1 \text{ pie}^3}{144 \text{ pg}^3} \times \frac{1 [\text{bl}]}{5.615 \text{ pie}^3}$$

$$\text{Volumen [bls]} = \frac{0.0012401\pi}{4} \times d^2 [\text{pg}] \times l_{\text{TOTAL}} [\text{pies}]$$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## EJEMPLO

Una sarta de perforación está compuesta por 9,000 pies de tubería de 5 pulgadas y 19.5 lb<sub>m</sub> / pie; y de 1,000 pies de lastrararreas con 3 pulgadas de diámetro interno.

- a. Calcular la capacidad de la tubería de perforación en barriles.

$$\text{Capacidad de la Tubería de Perforación: } A_p = \frac{\pi \cdot d^2}{4} L_p$$

Diámetro interno para una tubería de 5" = 4.276

Sustituyendo valores:

$$A_p = \frac{\pi}{4} (4.276 \text{ pulg})^2 \cdot \left[ \frac{7.482 \text{ galones}}{(12 \text{ pulg})^3} \right] \cdot \left[ \frac{1 \text{ barril}}{42 \text{ galones}} \right] \cdot \left[ \frac{12 \text{ pulg}}{1 \text{ pie}} \right] (9000 \text{ pies})$$

$$A_p = 159.89 \text{ barriles}$$

- b. Calcular la capacidad de los lastrararreas en barriles.

$$\text{Capacidad de los Lastrararreas: } A_c = \frac{\pi}{4} d^2 L_c$$

$$A_c = \frac{\pi}{4} (3 \text{ pulg})^2 \cdot \left[ \frac{7.482 \text{ galones}}{(12 \text{ pulg})^3} \right] \cdot \left[ \frac{1 \text{ barril}}{42 \text{ galones}} \right] \cdot \left[ \frac{12 \text{ pulg}}{1 \text{ pie}} \right] (1000 \text{ pies})$$

$$A_c = 8.74 \text{ barriles}$$

- c. Calcular el número de ciclos de la bomba que son necesarios para hacer llegar el lodo desde la superficie hasta la barrena; si la bomba es duplex de doble acción con pistones de 6 pulg. de diámetro y carrera de 16 pulg. Y opera con una eficiencia volumétrica del 85%.

Para un pistón:

$$\text{Volumen desplazado hacia delante: } \frac{\pi}{4} d_i^2 L_c$$

$$\text{Volumen desplazado hacia atrás: } \frac{\pi}{4} (d_i^2 - d_o^2) L_c$$

$$\text{Volumen total desplazado: } \frac{\pi}{4} L_c (2d_i^2 - d_o^2)$$

Factor de bombeo para la bomba Duplex:  $F_p = 2 \cdot V \cdot E$ ,

Dada la eficiencia de 0.85

Sustituyendo valores para calcular el factor de bombeo:

$$F_p = \frac{0.85\pi}{2} L_s (2d_i^2 - d_r^2)$$

$$F_p = \frac{0.85\pi}{2} (16 \text{ pu lg}) (2[36]) - 2.5^2 \left[ \frac{\text{pu lg}^2}{\text{ciclo}} \right] \cdot \left[ \frac{7.482 \text{ gal.}}{(12 \text{ pu lg})^3} \right] \cdot \left[ \frac{1 \text{ barril}}{42 \text{ gal.}} \right]$$

$$F_p = 0.1448 \text{ ciclos}$$

Capacidad total desde la superficie hasta la barrena = Cap. T.P. + Cap. Las.

$$159.89 \text{ barriles} + 8.74 \text{ barriles}$$

$$\text{Capacidad Total} = 168.632 \text{ barriles}$$

Por lo que. El número de ciclos requeridos es:

$$\frac{168.632 \text{ barriles}}{0.1448 \frac{\text{barriles}}{\text{ciclo}}} = 1164 \text{ ciclos}$$

- d. Calcular el desplazamiento de fluido debido a la Tubería de Perforación en bbl/pie

$$A_{ps} = \frac{\pi}{4} (OD^2 - ID^2)$$

$$A_{ps} = \frac{\pi}{4} (5^2 - 4.276^2) \left[ \text{pu lg}^2 \right] \times \left[ \frac{7.482 \text{ gal.}}{(12 \text{ pu lg})^3} \right] \times \frac{1 \text{ barril}}{42 \text{ gal.}} \times \frac{12 \text{ pu lg.}}{1 \text{ pie}}$$

$$A_{ps} = 6.525 \times 10^{-3} \frac{\text{barriles}}{\text{pie}}$$

- e. Calcular el desplazamiento de fluido debido a los lastrabarreras en bbl/pie.

Considerar que el diámetro externo (O.D.) de éstos es igual a 8 pulg.

$$A_{cs} = \frac{\pi}{4} (OD^2 - ID^2)$$

$$A_{cs} = \frac{\pi}{4} (8^2 - 3^2) \left[ \text{pu lg}^2 \right] \times \left[ \frac{7.482 \text{ gal.}}{(12 \text{ pu lg})^3} \right] \times \frac{1 \text{ barril}}{42 \text{ gal.}} \times \frac{12 \text{ pu lg.}}{1 \text{ pie}}$$

$$A_{cs} = 0.0534 \frac{\text{barriles}}{\text{pie}}$$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

- f. Calcular la pérdida de nivel del fluido si se sacan del pozo 10 lingadas de T.P. sin volverlo a llenar. Considerar que el diámetro interno (I.D.) de la T.R. es de 10.05 pulg.

Calculando la capacidad después de remover tubería:

$$\begin{aligned} \text{Capacidad} &= \frac{ID_{tr}^2 - (OD_{tr}^2 - ID_{tr}^2)}{1029.4} \left[ \frac{\text{barriles}}{\text{pie}} \right] \\ &= \frac{10.05^2 - (5^2 - 4.276^2)}{1029.4} \left[ \frac{\text{barriles}}{\text{pie}} \right] \\ &= 0.091519 \left[ \frac{\text{barriles}}{\text{pie}} \right] \end{aligned}$$

Desplazamiento de fluido debido a las 10 lingadas de T.P.

$$\begin{aligned} \text{Disp.} &= 6.525 \times 10^{-3} \left[ \frac{\text{barriles}}{\text{pie}} \right] \times 900 [\text{pies}] \\ \text{Disp.} &= 5.872 \text{ barriles} \end{aligned}$$

Calculando el cambio de nivel del líquido en el pozo:

$$\begin{aligned} \text{Decremento} &= 5.8725 \text{ bbl} \left( \frac{1 \text{ pie}}{0.091519 \text{ barriles}} \right) \\ \text{Decremento} &= 64.17 \text{ pies} \end{aligned}$$

- g. Calcular la pérdida de nivel del fluido si se extrae una lingada de lastrabarrenas sin llenar el pozo.

Desplazamiento de fluido debido a una lingada de lastrabarrenas:

$$\begin{aligned} \text{Desplazamiento} &= 0.0534 \left[ \frac{\text{barriles}}{\text{pie}} \right] (90 \text{ pies}) \\ \text{Desplazamiento} &= 4.08 \text{ barriles} \end{aligned}$$

Calculando la nueva capacidad después de remover los lastrabarrenas:

$$\text{Capacidad} = \frac{ID_{TW}^2 - (OD_{LR}^2 - ID_{LR}^2) \left[ \frac{\text{barriles}}{\text{pie}} \right]}{1029.4}$$

$$= \frac{10.05^2 - (8^2 - 3^2) \left[ \frac{\text{barriles}}{\text{pie}} \right]}{1029.4}$$

$$= 0.044689 \left[ \frac{\text{barriles}}{\text{pie}} \right]$$

Calculando el cambio de nivel del líquido en el pozo:

$$\text{Decremento} = 4.806 \text{ bbl} \left( \frac{1 \text{ pie}}{0.044689 \text{ barriles}} \right)$$

$$\text{Decremento} = 107.54 \text{ pies}$$

- h. Calcular el cambio en el nivel de líquido en la presa de lodos si tiene dimensiones de 8 pies de ancho y 20 pies de largo, suponiendo que se rellena el pozo después de extraer 10 lingadas de T.P.

Volumen de lodo tomado de la presa = Volumen de la tubería retirada

Volumen de la tubería removida = 5.8725 barriles (del inciso f)

$$\text{Volumen extraído de la presa} = 5.8725 \text{ bbl} \left( \frac{42 \text{ gal.}}{1 \text{ bbl}} \right) \left( \frac{1 \text{ pie}^3}{7.482 \text{ gal}} \right)$$

$$\text{Volumen extraído de la presa} = 32.9651 \text{ pie}^3$$

$$\text{Área de la presa} = 8 \times 20 \left[ \text{pie}^2 \right]$$

$$\text{Área de la presa} = 160 \text{ pie}^2$$

$$\text{Cambio de nivel en la presa} = \frac{32.9651 \left[ \text{pie}^3 \right]}{160 \left[ \text{pie}^2 \right]} = 0.206 \left[ \text{pie} \right]$$

- i. Calcular el cambio en el nivel del tanque de viajes de 3x3 pies suponiendo que de aquí se vuelve a llenar el pozo después de extraer las 10 lingadas.

$$\text{Área del tanque para viajes} = 3 \times 3 \left[ \text{pie}^2 \right]$$

$$\text{Área del tanque para viajes} = 9 \left[ \text{pie}^2 \right]$$

$$\text{Cambio de nivel en el tanque para viajes} = \frac{32.9651 \left[ \text{pie}^3 \right]}{9 \left[ \text{pie}^2 \right]} = 3.66 \left[ \text{pie} \right]$$

## CÁLCULOS PARA DETERMINAR LA VELOCIDAD DE DESPLAZAMIENTO DEL FLUIDO EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE CIRCULACIÓN

Para acondicionar el lodo, ya sea en tratamiento regular o al cambiar de un lodo a otro, es importante conocer el tiempo requerido por éste para realizar un ciclo completo. Como se usa en el reporte de lodos, el ciclo del lodo es el tiempo requerido para bajar hasta la barrena y regresar a la superficie; algunas veces se toman como puntos de referencia el "kelly" y la línea de flote o desde la bomba de succión hasta la línea de flote; por lo que, un ciclo completo del lodo será el movimiento de todo el lodo del sistema desde el punto de succión de la bomba hasta su regreso a este mismo punto.

Todos los reactivos y material de peso, deben ser agregados al lodo a una velocidad tal que el fluido dé al menos una vuelta completa durante el tratamiento; razón por la cual intervienen dos factores en la determinación de este tiempo de circulación:

- El volumen de lodo considerado.
- El gasto de la bomba.

El tiempo del ciclo, dentro del agujero, es el tiempo requerido por la bomba para desplazar el lodo del agujero; por consiguiente:

$$\text{Ciclo en minutos} = \frac{\text{barriles de lodo en el agujero}}{\text{Gasto de la bomba} \left[ \frac{\text{barriles}}{\text{minuto}} \right]}$$

Si se necesita el ciclo exacto del lodo en agujeros irregulares, puede ser necesario añadir algún marcador en el lodo y observar cuando éste regrese a la superficie; por lo que, el ciclo completo del lodo en minutos será:

$$\text{Ciclo en minutos} = \frac{\text{barriles de lodo en el sistema}}{\text{Gasto de la bomba} \left[ \frac{\text{barriles}}{\text{minuto}} \right]}$$

La descarga de la bomba se efectúa a través de cilindros dentro de los cuales habrá un movimiento de pistones; en las bombas "duplex" (que tienen dos cilindros), la descarga del cilindro es hacia delante del movimiento y hacia atrás del movimiento del pistón; en cambio, las bombas "triplex" son de simple acción, en las cuales la descarga del fluido es sólo hacia delante del movimiento del pistón.

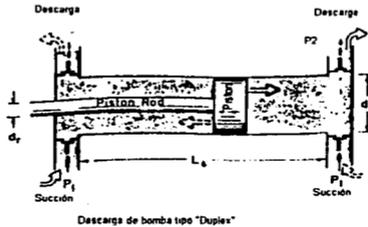


Figura 6.1 Descarga en bomba tipo Duplex

Una embolada de la bomba involucra un ciclo completo del pistón, esto es, el ciclo de ida y regreso del mismo pistón, por lo que la descarga de ambos cilindros en ambas direcciones de ida y vuelta será una embolada de una bomba "duplex" (de doble acción) y la descarga de los tres cilindros en una "triplex".

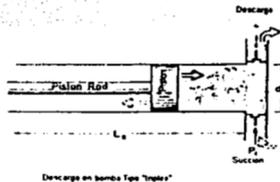


Figura 6.2 Descarga en bomba tipo Triplex

El fluido de perforación se descarga a través de las aberturas de la barrena (toberas) y es desviado hacia arriba llevando los recortes en suspensión a través del espacio anular existente entre la tubería de perforación y las paredes del pozo; debido a la rotación de la barrena, este fluido, toma en un principio un movimiento de remolino o helicoidal que ayuda a levantar los recortes de la barrena de una mejor forma; por lo que, el camino recorrido por los recortes es más largo debido a este impulso, razón por la cual se requiere menos fuerza que si tuvieran que ser levantados verticalmente.

La velocidad ascendente del fluido sostiene los recortes de la barrena moviéndolos hacia la superficie mientras se mantiene suficiente volumen en circulación; por lo que, a un progreso más rápido en la perforación, deberá ser mayor la velocidad de las bombas.

De acuerdo a lo anterior, se podrá definir el rendimiento de la bomba como el volumen de lodo descargado por la bomba en cada embolada; lo cual generalmente se expresa en barriles por embolada (bl / embolada). El desplazamiento de la bomba depende del diámetro del cilindro, de la longitud de la carrera del pistón y de la eficiencia volumétrica de la bomba. Esta eficiencia se aproxima al 100% para las bombas triplex y se asume de alrededor del 90% para bombas duplex.

**CÁLCULO DEL TIEMPO DE CIRCULACIÓN.**- Para acondicionar el lodo, ya sea en tratamiento regular o al cambiar de un lodo a otro, es importante conocer el tiempo requerido para hacer un ciclo completo. Como se usa en el reporte de lodos, el ciclo del lodo es el tiempo requerido por el lodo para bajar hasta la barrena y regresar a la superficie; algunas veces se toman como puntos de referencia el kelly y la línea de flote o desde la bomba de succión hasta la línea de flote; por lo que, un ciclo completo del lodo será el movimiento de todo el lodo del sistema desde el punto de succión de la bomba hasta regresar al mismo punto.

Todos los reactivos y materiales de peso, deben ser agregados al lodo a una velocidad tal que el fluido dé cuando menos una vuelta completa durante el tratamiento; razón por la cual intervienen dos factores en la determinación de este tiempo de circulación:

- El volumen de lodo considerado.
- El gasto de la bomba

El tiempo de ciclo, dentro del agujero, es el tiempo requerido por la bomba para desplazar el lodo del agujero. Por consiguiente:

$$\text{Ciclo en minutos} = \frac{\text{barriles de lodo en el agujero}}{\text{gasto} \left[ \frac{\text{barriles}}{\text{minuto}} \right]}$$

Si se necesita el ciclo exacto del lodo en agujeros irregulares, puede ser necesario añadir algún marcador en el lodo y observar cuando regrese a la superficie. Por lo que, el ciclo completo del lodo en minutos será:

$$\text{Ciclo en minutos} = \frac{\text{barriles de lodo en el sistema}}{\text{Gasto de la bomba} \left[ \frac{\text{barriles}}{\text{minuto}} \right]}$$

### EJEMPLO

Considere una bomba triplex que tiene pistones de 6 pulgadas de diámetro y camisas de 11 pulgadas, operando a una velocidad de 120 ciclos / minuto y con una presión de descarga de 3,000 lb / pulg<sup>2</sup> manométricas.

- a. Calcular el factor de la bomba en galones/ciclo considerando una eficiencia volumétrica del 100%.

$$V = \frac{\pi}{4} d_p^2 L_p$$

$$\text{Volumen desplazado por un pistón} = V = \frac{\pi}{4} (6 \text{ pulg.})^2 (11 \text{ pulg.})$$

$$V = 311.0177 \text{ pulg}^3 \text{ Por ciclo}$$

Dada la eficiencia  $E_v = 1.0$

Fórmula para calcular el factor de la bomba:  $F_p = 3VE_v$

TALLER CON  
 FALLA DE ORIGEN

$$F_p = 3 \cdot (311.0177 \left[ \frac{\text{pulgadas}^3}{\text{ciclo}} \right]) \cdot \left( \frac{7.482 \text{ galones}}{(12 \text{ pulgadas})^3} \right)$$

Sustituyendo valores:

$$F_p = 4.039 \left[ \frac{\text{galones}}{\text{ciclo}} \right]$$

- b. Calcular el gasto en galones/minuto

$$Q = F_p \cdot N$$

$$\text{Gasto } Q = 4.039 \frac{\text{gal}}{\text{ciclo}} \cdot 120 \frac{\text{ciclos}}{\text{minuto}}$$

$$Q = 484.68 \frac{\text{galones}}{\text{minuto}}$$

- c. Calcular la energía consumida por cada pistón durante cada ciclo y la potencia desarrollada por la bomba.

$$E = P_{\text{DIS}} \cdot V$$

$$\text{Energía gastada por un pistón: } E = 300 \left[ \frac{\text{lb}_f}{\text{pul}^2} \right] \cdot 311.0177 \left[ \frac{\text{pul}^3}{\text{ciclo}} \right] \cdot \left[ \frac{1 \text{ pie}}{12 \text{ pul}} \right]$$

$$E = 77,754.42 \left[ \frac{\text{pie} \cdot \text{lb}_f}{\text{ciclo}} \right]$$

Potencia desarrollada por la bomba para los tres pistones

$$\text{Potencia} = P_{\text{DIS}} \cdot Q$$

$$\text{Potencia} = P_{\text{DIS}} (F_p \cdot N)$$

$$\text{Potencia} = P_{\text{DIS}} (3 \cdot V \cdot N)$$

$$\text{Potencia} = 3 \cdot E \cdot N$$

$$\text{Potencia} = 3 \left( 77754.42 \left[ \frac{\text{pie} \cdot \text{lb}_f}{\text{ciclo}} \right] \right) \left( 120 \left[ \frac{\text{ciclos}}{\text{minuto}} \right] \right) \left( \frac{60 \text{ minutos}}{\text{hora}} \right) \left( \frac{5.05 \times 10^{-7}}{\text{pie} \cdot \text{lb}_f} \right)$$

$$\text{Potencia} = 848.14 \text{ hp}$$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## CÁLCULOS PARA DETERMINAR LA DENSIDAD DEL FLUIDO EN FUNCIÓN DEL GRADIENTE DE FRACTURA

La base para una perforación eficiente radica en el conocimiento de las presiones de formación y de fracturamiento de las formaciones litológicas que deben atravesarse para llegar al objetivo; por ello debemos conocer a que se refieren estos conceptos.

**PRESIÓN DE FORMACIÓN.-** Se define como la presión a la que se encuentra sometidos los fluidos (aceite, agua y gas) dentro del espacio poroso de las rocas en cualquier punto dentro de las formaciones. Es consecuencia principalmente del peso de las rocas suprayacentes; esto es, de la sobrecarga ejercida en cualquier punto, afectada por el valor de auto soporte de la roca.

**PRESIÓN DE FRACTURAMIENTO.-** Es la presión necesaria para vencer la presión de formación y la resistencia de la roca a ser fracturada.

El grado de resistencia que ofrece una formación a ser fracturada, depende de la solidez de la roca y de los esfuerzos de compresión a los que está sometida.

**GRADIENTE DE FRACTURAMIENTO.-** Éste se define como la variación de la presión de fracturamiento con respecto a la profundidad; y está relacionado con la presión de formación y la litología.

Con esto se observa que el conocimiento de estos gradientes y presiones, es vital, ya que al conocer estos parámetros se puede determinar la densidad adecuada del fluido de perforación para poder atravesar la columna litológica y evitar de esta manera las pérdidas de circulación y la invasión de flujos indeseados al pozo que pueden desencadenar en brotes.

Para algunos puntos de la columna de fluido, la presión es dada como una consecuencia de la densidad del fluido por encima de este punto. Esta presión es conocida

como "Presión Hidrostática" y depende solamente de la densidad del fluido y la longitud de la columna sobre el punto de interés.

## EJEMPLO

Un pozo que está siendo perforado a 12,000 pies, utilizando un lodo de 11 lb<sub>m</sub>/gal, encuentra una formación permeable que tiene una presión de flujo de 7,000 psig, la cual es cortada por la barrena. Calcular:

- a. Si la circulación se detiene, ¿Cuál es la presión hidrostática que ejerce la columna de lodo contra la formación?

$$p = 0 + (0.052)(12000)(11)$$

$$p = 6864 \text{ psig}$$

- b. ¿El pozo fluirá si los preventores no fueron cerrados?

Sí, debido a que la presión de la formación es mayor que la presión hidrostática ejercida por la columna de lodo.

- c. La presión superficial en la tubería de perforación si los preventores fueron cerrados

$$P_{sp} = P_{\text{formación}} - P_{\text{hidrostática}}$$

$$P_{sp} = 7000 - 6864$$

$$P_{sp} = 136 \text{ psig}$$

- d. Si la salmuera de la formación tiene una gravedad específica de 1.1, entra al espacio anular hasta una profundidad de 11,000 pies antes de que puedan cerrarse los preventores, ¿Cuál será la presión anular en el pozo después de que sea cerrado?

$$P_{sp} = P_{\text{formación}} - P_{\text{hidrostática}}$$

$$P_{sp} = 7000 - 0.052[(1.1 \times 8.33 \times 1000) + (11000 \times 1.1)]$$

$$P_{sp} = 7000 - 6768$$

$$P_{sp} = 232 \text{ psig}$$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## ECUACIÓN PARA DETERMINAR LA CANTIDAD DE MATERIA NECESARIA PARA EFECTUAR EL CONTROL DE LA DENSIDAD

Debido a que los lodos de perforación están compuestos de mezclas de diversos materiales, debe recordarse que éstos afectan los parámetros más importantes como la densidad, la pérdida de agua, la viscosidad; así como las propiedades reológicas y tixotrópicas del fluido con el que estemos trabajando.

La densidad del lodo se ve influenciada por todos los materiales presentes en el lodo; los cuales contribuyen a la modificación de ésta. En el caso de los lodos ordinarios base agua, los componentes principales son el agua (generalmente dulce), las arcillas, partículas de lutita que se dispersan en el lodo y finalmente la barita, la cual es una arcilla que se agrega para aumentar la densidad; además de los reactivos usados para controlar la viscosidad y las propiedades del gel, sin embargo, estos últimos generalmente se encuentran en pequeñas cantidades por lo que no se toman en cuenta para los cálculos de control de densidad.

Por lo anterior, podemos decir que el control de la densidad de un fluido de perforación es casi sinónimo del control de sólidos en el fluido, ya que los requerimientos de densidad del lodo deben estar basados en las presiones de las formaciones a perforar.

Para la resolución de problemas existen tres ecuaciones fundamentales utilizadas para el cálculo de la densidad del lodo; las cuales son:

▪ Peso final de la mezcla = Peso del lodo original + Peso del material agregado

$$W_f = W_{\text{original}} + W_{\text{agregado}}$$

▪ Volumen final de la mezcla = Volumen de lodo original + Volumen del material agregado

$$V_f = V_{\text{original}} + V_{\text{agregado}}$$

▪ Densidad final de la mezcla = Peso final de la mezcla entre el volumen final de la mezcla

$$\rho_f = \text{Densidad} = \frac{\text{Peso}}{\text{Volumen}} = \frac{W}{V}$$

Estas ecuaciones pueden combinarse y arreglarse algebraicamente para adaptarlas a cualquier cálculo particular que se tenga.

## EJEMPLOS

- a. Calcular la densidad de un lodo que ha sido mezclado añadiendo 30 lb<sub>m</sub>/barril de arcilla y 200 lb<sub>m</sub> de barita API a 1 barril de agua.

$$\rho = \frac{m_a + m_b + m_w}{V_a + V_b + V_w} = \frac{30 + 200 + 350}{\frac{30}{910} + \frac{200}{1470} + 1}$$

$$\rho = \frac{580}{0.033 + 0.136 + 1} = 1.1691$$

$$\rho = 496.1 \left[ \frac{\text{lb}_m}{\text{barril}} \right] = 11.81 \left[ \frac{\text{lb}_m}{\text{galón}} \right]$$

- b. Determinar la densidad de una salmuera compuesta de 150 lbm de CaCl<sub>2</sub> y de 1 barril de agua, asumiendo que se ha mezclado idealmente.

$$\rho = \frac{m_t}{V_t}$$

$$m_t = W_w + W_{\text{CaCl}_2} = 350 + 150 = 500 [\text{lb}_m]$$

$$V_t = V_w + V_{\text{CaCl}_2} = 1 [\text{barril}] + \frac{150 [\text{lb}_m]}{686 \left[ \frac{\text{lb}_m}{\text{barril}} \right]} = 1.219 [\text{barril}]$$

$$\rho = \frac{m_t}{V_t} = \frac{500 [\text{lb}_m]}{1.219 [\text{barril}]} = 410.3 \left[ \frac{\text{lb}_m}{\text{barril}} \right] = 9.77 \left[ \frac{\text{lb}_m}{\text{galón}} \right]$$

- c. La densidad de 600 barriles de lodo de 12 lb/gal debe incrementarse a 14.0 lb/gal, mediante la adición de Barita (BaSO<sub>4</sub>). Se añadirá un galón de agua por cada saco de barita utilizado para mantener la consistencia del lodo aceptable. El volumen final no tiene restricciones. Calcular la cantidad de barita que se requiere.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

$$V_2 = \left[ \frac{\rho_B \times \left( \frac{100 + \rho_w}{100 + \rho_B} \right) - \rho_1}{\rho_B \times \left( \frac{100 + \rho_w}{100 + \rho_B} \right) - \rho_2} \right] V_1$$

$$V_2 = \left[ \frac{35 \times \left( \frac{100 + 8.33}{100 + 35} \right) - 12}{35 \times \left( \frac{100 + 8.33}{100 + 35} \right) - 14} \right] 600$$

$$V_2 = 685.2 \text{ barriles}$$

$$M_{BaSO_4} = \frac{100 \cdot \rho_B}{100 + \rho_B} (V_2 - V_1)$$

$$M_{BaSO_4} = \frac{100(35)}{100 + 35} (685.2 - 600) \left[ 42 \left[ \frac{\text{gal}}{\text{barril}} \right] \right]$$

$M_{BaSO_4} = 92,773$  libras de Barita se requieren para el aumento de la densidad

Calculando el volumen de agua que se va a utilizar

Considerando que un saco de Barita pesa 100 lbs.

$$V_w = 92,773 [\text{lbs}] \times \left[ \frac{\text{lsaco}}{100/\text{lbs}} \right] \times \left[ \frac{\text{lgalón}}{\text{lsaco}} \right]$$

$V_w = 927.7$  galones de agua se añadirán al lodo para mantener su consistencia

- d. La densidad de 800 barriles de un lodo de 14 lb/gal, debe incrementarse a 14.5 mediante la adición de barita. El volumen total está limitado a 800 barriles. Calcular la masa de barita requerida y el volumen de lodo que debe desecharse para alcanzar las condiciones pedidas.

$$V_2 = V_1 \times \left( \frac{\rho_B - \rho_1}{\rho_B - \rho_2} \right)$$

Pero, como el volumen final está limitado a 800 barriles, tendríamos:

$$V_1 = \left( \frac{\rho_B - \rho_2}{\rho_B - \rho_1} \right) \times V_2$$

$$V_1 = \left( \frac{35 - 14.5}{35 - 14} \right) \times 800$$

$$V_1 = 780.95 \text{ barriles}$$

Por lo tanto el volumen que se desechará es igual a:  $800 - 780.95 = 19.05$  barriles

∴ La masa de Barita que se requiere es:

$$M_{BaSO_4} = (V_2 - V_1) \rho_B \left[ 42 \left[ \frac{\text{gal}}{\text{barril}} \right] \right]$$

$$M_{BaSO_4} = (800 - 780.95) (35) \left[ 42 \left[ \frac{\text{gal}}{\text{barril}} \right] \right]$$

$$M_{BaSO_4} = 28,003.5 \text{ libras}$$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

- e. La densidad del lodo de un pozo va a ser incrementada de 10 a 12 lb<sub>m</sub>/gal. Si la bomba se para cuando la interfase de los dos lodos se encuentra a una profundidad de 8000 pies dentro de la sarta de perforación, ¿Qué presión debe mantenerse en la superficie por el preventor anular, para evitar el flujo del pozo?. ¿Cuál es la densidad equivalente en el espacio anular a 4000 pies, una vez que se ha cerrado el preventor?

Calculando la presión que debe soportar el preventor en la superficie:

$$p = 0.052 \cdot (\rho_2 - \rho_1) \times \text{profundidad}$$

$$p = 0.052 \cdot (12 - 10) \times 8000$$

$$p = 832 \text{ psi}$$

Calculando la densidad equivalente, tendríamos:

$$\rho_e = \rho_1 + \frac{p}{0.052 \times \text{profundidad}}$$

$$\rho_e = 10 + \frac{832}{0.052 \times 4000}$$

$$\rho_e = 10 + 4$$

$$\rho_e = 14 \left[ \frac{\text{lb}}{\text{gal}} \right]$$

### CÁLCULO DE PORCENTAJES PARA DETERMINAR LA CANTIDAD DE FASE SÓLIDA Y LÍQUIDA PRESENTE EN LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN

Otro de los aspectos que se debe tener muy en cuenta por parte de los encargados de los fluidos de perforación, es la vigilancia de los porcentajes de cada uno de los componentes líquidos, sólidos y/o gaseosos presentes en el lodo; ya sea, agua, aceite o sólidos, según sea el caso. Ya que un cambio en la composición del lodo, afectará sus propiedades reológicas y tixotrópicas, ocasionando la aparición de problemas durante las operaciones de perforación.

Por ello se procederá a describir la forma de calcular los porcentajes de cada uno de los materiales presentes en el lodo; en función de un análisis de retorta (*Ver Práctica No. 7 "Uso de la retorta"*).

**PORCENTAJE DE ACEITE EN LODOS.-** El porcentaje de aceite (por volumen) en el lodo es determinado por las pruebas de la retorta. El nivel del líquido en el cilindro graduado menos el nivel de agua en el cilindro, es igual al porcentaje de aceite.

**PORCENTAJE DE AGUA EN LODOS.-** Una retorta es necesaria para la determinación del porcentaje de agua (por volumen) en los lodos. La sal en la fase agua es retenida con los sólidos sobre las pruebas de la retorta, por lo cual el nivel de agua en el cilindro graduado es un porcentaje incorrecto de agua al tenerse ésta condición. Para las densidades incorrectas del lodo (lodos que contienen poca o no contienen barita) se utilizará la fórmula:

$$\Gamma = 7.5(21.66 - \rho) - 1.1V$$

Donde  $\rho$  es la densidad del lodo en lb/gal y  $V$  es el porcentaje de aceite en el lodo que usualmente es más exacto en una lectura de la retorta.

Si se tiene una cantidad menor a 10,000 ppm de sal presente en la fase de agua para el lodo " $\Gamma$ " puede ser tomado como el porcentaje de agua para el lodo. Lo que nos conduce a la siguiente expresión:

$$\% \text{ de Agua} = \Gamma + C$$

Donde la corrección de sal está dada por:

$$C = 0.13 \times \frac{\text{ppm de sal}}{300,000} \times \Gamma$$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**PORCENTAJE DE SÓLIDOS EN EL LODO.-** Si el porcentaje de aceite y de agua han sido apropiadamente determinados, el porcentaje de sólidos (por volumen) puede ser obtenido por:

$$\% \text{ de Sólidos} = 100 - \% \text{ de Agua} - \% \text{ de Aceite}$$

## EJEMPLO

De un análisis de retorta se obtuvo:

Peso del lodo = 1.8 gr/cc

Volumen de agua = 58%

Volumen de aceite = 10%

Volumen de sólidos = 32%

Con base a los datos anteriores calcule la gravedad específica promedio del total de sólidos (GEPS) contenidos en el lodo.

SOLUCIÓN:

Peso del lodo: 1.8 gr/cc = 18 gramos de lodo / 10 ml.

$5.8 \times 1 = 5.8$  gr. de agua / 10 ml. de lodo

$1.0 \times 0.8 = 0.8$  gr. de aceite / 10 ml. de lodo

$5.8 + 0.8 = 6.6$  gr. de líquido / 10 ml de lodo

$18$  gr. de lodo -  $6.6$  gr. de líquido =  $11.4$  gr. de sólidos

Por lo tanto,

$$\text{GEPS} = \frac{11.4 \text{ gr. de sólidos} / 10 \text{ ml. de lodo}}{3.2 \text{ cc de sólidos} / 10 \text{ ml. de lodo}}$$

$$\text{GEPS} = 3.6 \frac{\text{gr.}}{\text{cc}}$$

La gravedad específica promedio de los sólidos puede ser expresada en  $\text{Kg/m}^3$  de sólidos de baja gravedad (predominando sólidos de perforación) y  $\text{Kg/m}^3$  de barita.

## PROBLEMAS SOBRE LODOS DE PERFORACION

1. Datos:

- Volumen de lodo =  $80 \text{ m}^3$
- Rendimiento de arcilla = 75 barriles/ton. Corta ( $D_A = 2.5$ )
- Viscosidad desecada = 15 centipoises

Determinar:

- a) Los kilogramos de arcilla requerida.
- b) La densidad final del lodo.

c) La presión hidrostática ejercida por el lodo en  $\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2 \cdot \text{metro}}$

SOLUCIÓN:

$$a) \frac{1 \text{ barril}}{\text{ton.corta}} = \frac{1}{6.29} \cdot \frac{\text{metros}^3}{\text{tonelada métrica}} = 0.175 \frac{\text{m}^3}{\text{tonelada}}$$

$$\begin{aligned} \text{Rendimiento de la arcilla} &= 75 \frac{\text{barriles}}{\text{ton.corta}} \\ &= 75 * 0.175 = 13.12 \text{ m}^3 / \text{tonelada} \end{aligned}$$

Por lo que el peso de la arcilla requerida es igual a:

$$\frac{80 \text{ m}^3}{13.12 \text{ m}^3 / \text{ton.}} \times 1000 = 6090 \text{ Kgs.}$$

b)

$$W_A = V_A \cdot D_A$$

$$6090 = V_A (2.5); V_A = \frac{6090}{2.5} \Rightarrow 2435 \text{ lts.}$$

$$W_F = W_A + W_W$$

$$V_F \cdot D_F = V_A \cdot D_A + V_W \cdot D_W$$

$$V_F = V_A + V_W$$

$$V_W = V_F - V_A$$

$$V_W = 80000 - 2435$$

$$V_W = 77565 \text{ lts.}$$

Sustituyendo datos:

$$80000 D_F = 6090 + 77565$$

$$80000 D_F = 83655$$

$$D_F = \frac{83655}{80000}$$

$$D_F = 1.045$$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

c) Presión Hidrostática =  $0.1045 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2 \cdot \text{metro}}$

2. Datos:

- Volumen de lodo =  $160 \text{ m}^3$

- Rendimiento de la arcilla =  $100 \frac{\text{barriles}}{\text{ton. corta}}$ ;  $D_A = 2.5$
- Viscosidad deseada de la mezcla arcilla-agua = 15 centipoises

Determinar:

- a) Kilos de barita para aumentar la densidad del lodo a 1.8
- b) El aumento que resulte en el volumen de lodo.
- c) Si las presas de lodo están llenas antes de añadir la Barita, indicar la cantidad de lodo que hay que tirar antes de añadirla.

**SOLUCIÓN:**

a)

$$\text{Rendimiento de la arcilla} = 100 \times 0.175 = 17.5 \frac{\text{m}^3}{\text{tonelada}}$$

$$W_A = \frac{160}{17.5} = 9.145 \text{ ton.}$$

$$V_A = \frac{W_A}{D_A} = \frac{9.145}{2.5} \Rightarrow 3.658 \text{ m}^3$$

$$V_w = V_F - V_A = 160 - 3.658$$

$$V_w = 156.342$$

$$D_F = \frac{W_A + W_w}{V_F} = \frac{9.145 + 156.342}{160}$$

$$D_F = \frac{165.487}{160} \Rightarrow 1.034$$

∴ La densidad del lodo antes de añadir barita es de 1.034

$$W_F = W_i + W_n; \quad V_F = V_i + V_n$$

$$V_F \cdot D_F = 165.487 + V_n \cdot D_n$$

$$(V_i + V_n) \cdot 1.8 = 165.487 + 4.3V_n$$

$$(160 + V_n) \cdot 1.8 = 165.487 + 4.3V_n$$

$$288 + 1.8V_n = 165.487 + 4.3V_n$$

$$2.5V_n = 122.513$$

$$V_n = \frac{122.513}{2.5} \Rightarrow 49 \text{ m}^3$$

$$W_n = V_n \cdot D_n \Rightarrow 49 \times 4.3$$

$$W_n = 210.7 \text{ toneladas}$$

b)

$$\text{Aumento de volumen} = \frac{W_n}{D_n} = \frac{210.7}{4.3} \Rightarrow 49 \text{ m}^3$$

c)

$$V_F = V_I + V_R$$

$$V_F \cdot D_F = V_I \cdot D_I + V_R \cdot D_R$$

$$V_F \cdot D_F = V_I \cdot D_I + (V_F - V_I) D_R$$

$$V_F \cdot D_F = V_I \cdot D_I + V_F \cdot D_R - V_I \cdot D_R$$

$$V_I \cdot D_R - V_I \cdot D_I = V_F \cdot D_R - V_F \cdot D_F$$

$$V_I (D_R - D_I) = V_F (D_R - D_F)$$

$$\frac{V_I}{V_F} = \frac{D_R - D_F}{D_R - D_I}$$

$$\frac{V_I}{V_F} = \frac{4.3 - 1.8}{160 - 1.034}$$

$$\frac{V_I}{V_F} = \frac{2.5}{3.266} \Rightarrow 0.765$$

$$V_I = 160 \times 0.765 \Rightarrow 122.4 \text{ m}^3$$

$$\therefore \text{La cantidad de lodo que se debe tirar antes de añadir la barita es :}$$

$$160 - 122.4 = 37.6 \text{ m}^3$$

3. Datos:

- Volumen de lodo =  $160 \text{ m}^3$
- Rendimiento de la arcilla =  $100 \frac{\text{barriles}}{\text{ton. corta}}$ ;  $D_A = 2.5$
- Viscosidad deseada de la mezcla arcilla-agua: 15 centipoises
- Porcentaje de aceite = 10% por volumen
- Densidad del aceite = 0.8

Determinar:

- a) Densidad del lodo
- b) El contenido de sólidos en % en volumen y en % en peso.

**SOLUCIÓN**

a)

$$\text{Rendimiento de arcilla} = 100 \times 0.175 = 17.5 \frac{\text{m}^3}{\text{ton. corta}}$$

$$V_F = 160; V_o = 16; V_I = 144$$



$$W_A = \frac{144}{17.5} = 8.23 \text{ ton.}; V_A = \frac{8.23}{2.5} = 3.29 \text{ m}^3$$

$$W_w = 144 - 3.29 = 140.71 \text{ m}^3$$

$$W_I = W_A \cdot V_A + W_w \cdot V_w$$

$$W_I = 8.23 + 140.71$$

$$W_I = 148.94$$

$$W_F = W_I + W_o$$

$$160 \cdot D_F = 148.94 + (0.8 \times 16)$$

$$160 \cdot D_F = 148.94 + 12.8$$

$$160 \cdot D_F = 161.74$$

$$D_F = \frac{161.74}{160} \Rightarrow 1.01$$

b)

$$\% \text{ de sólidos en volumen} = 100 \frac{V_A}{V_F} = \frac{3.29}{160} \times 100$$

$$\% \text{ de sólidos en volumen} = 2.06 \%$$

$$\% \text{ de sólidos en peso} = \left( \frac{W_A}{W_F} \right) \times 100$$

$$\% \text{ de sólidos en peso} = \left( \frac{8.23}{160 \times 1.01} \right) \times 100$$

$$\% \text{ de sólidos en peso} = 5.09 \%$$

## 4. Datos:

- Densidad del lodo = 2.16
- Densidad de los sólidos de bajo peso (bentonita) = 2.5
- Densidad de los sólidos de alto peso (barita) = 4.3
- Contenido de sólidos = 36% en volumen
- Contenido de aceite = 10% en volumen
- Densidad del aceite = 0.8

Determinar:

- a) El porcentaje en volumen de Barita.
- b) El porcentaje en volumen de los sólidos de bajo peso (arcillas bentoníticas)

**SOLUCIÓN**

a)

$$V_a = 0.1$$

$$V_A + V_H = 0.36$$

$$V_w = 0.54$$

$$W_F = W_w + W_A + W_H + W_n$$

$$V_F \cdot D_F = V_w \cdot D_w + V_A \cdot D_A + V_H \cdot D_H + V_n \cdot D_n$$

$$(1.0 \times 2.16) = (0.54 \times 1.0) + (0.36 - V_H) \times 2.5 + 4.3 \times V_H + (0.1 \times 0.8)$$

$$2.16 = 0.54 + 0.9 - 2.5V_H + 4.3V_H + 0.08$$

$$2.16 = 1.52 + 1.8V_H$$

$$V_H = \frac{0.64}{1.8}$$

$$V_H = 0.355 \approx 35.5\%$$

b)

$$V_A = 0.36 - V_H$$

$$V_A = 0.36 - 0.355$$

$$V_A = 0.005$$

$$V_A = 0.5\%$$

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

5. Datos:

- Profundidad del pozo = 3000 m.
- Intervalo de la formación productora = 2993 a 3000 m.
- Presión del yacimiento = 490 kg/cm<sup>2</sup>
- Presión diferencial (pozo a formación), para perforar = 17 kg/cm<sup>2</sup>

Determinar:

- a) La densidad requerida del lodo.
- b) Si se desea disparar el intervalo productor con una presión diferencial, formación a pozo, de 34 kg/cm<sup>2</sup>; calcular el nivel del lodo dentro del pozo.

**SOLUCIÓN**

a)

$$Ph = 490 + 17 = 507 \text{ kg/cm}^2$$

$$Ph = 0.1 \times d \times h$$

$$507 = 0.1 \times d \times 3000$$

$$d = \frac{507}{300}$$

densidad requerida del lodo : 1.69

b)

$$Ph = 490 - 34 = 456 \text{ kg/cm}^2$$

$$Ph = 0.1 \times d \times h$$

$$456 = 0.1 \times 1.69 \times h$$

$$h = \frac{456}{0.169} \Rightarrow 2700 \text{ m}$$

Por lo que el nivel del lodo dentro del pozo está dado por:  $3000 - 2700 = 300$  metros

6. Datos:

- Rendimientos de la arcilla =  $50 \frac{\text{barriles}}{\text{ton.corta}}$
- Densidad de la arcilla = 2.5
- Viscosidad requerida del lodo = 15 centipoises
- Volumen de lodo por mezclar =  $16 \text{ m}^3$

Determinar:

- a) Los kilogramos de arcilla requerida.
- b) Los kilogramos de Barita que se requieren para aumentar la densidad del lodo a 1.92, sin aumentar el volumen total.
- c) El contenido de sólidos en porcentaje en volumen y porcentaje en peso.
- d) La presión hidrostática ejercida por la columna de lodo, en  $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2 \cdot \text{m}}$

SOLUCIÓN:

a)

$$\text{Rendimiento de la arcilla} = 50 \times 0.175 = 8.75 \frac{\text{m}^3}{\text{ton.}}$$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

$$W_A = \frac{16 \text{ m}^3}{8.75 \frac{\text{m}^3}{\text{ton}}} \times 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{ton}} \approx 1829 \text{ kg.}$$

b)

$$W_I = W_w + W_A$$

$$V_A = \frac{1829}{2.5 \times 16} = 45.7 \text{ litros}$$

$$V_w = 1000 - 45.7 = 954.3 \text{ litros}$$

$$1000D_I = 954.3 + 114.2$$

$$D_I = \frac{1068.5}{1000} = 1.068$$

$$\frac{V_F}{V_H} = \frac{D_H - D_I}{D_F - D_I}$$

Sustituyendo los datos :

$$16 = \frac{4.3 - 1.068}{1.92 - 1.068}$$

$$\frac{16}{V_H} = \frac{3.232}{0.852} = 3.79$$

$$\frac{16}{V_H} = 3.79$$

$$V_H = \frac{16}{3.79} = 4.22 \text{ m}^3$$

$$W_H = V_H \cdot D_H = 4.22 \times 4.3 \times 1000 = 18150 \text{ Kg.}$$

c)

DATOS :

$$W_F = 16 \times 1.92 = 30.7$$

$$W_B = 18.15$$

$$W_I = W_F - W_B = 30.7 - 18.15 = 12.55$$

$$W_A = 0.538 \times 2.5 = 1.345$$

$$V_F = 16$$

$$V_H = 4.22$$

$$V_I = V_F - V_H = 16 - 4.22 = 11.78$$

$$V_A = 11.78 \times 0.0457 = 0.538$$

$$\% \text{ DE SÓLIDOS EN PESO} = \frac{W_B + W_A}{W_F} = \frac{18.15 + 1.345}{30.7} = 0.635 \Rightarrow 63.5\%$$

$$\% \text{ DE SÓLIDOS EN VOLUMEN} = \frac{V_H + V_A}{V_F} = \frac{4.22 + 0.538}{16} = 0.298 \Rightarrow 29.8\%$$

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

$$d) \text{ Presión hidrostática de la columna de lodo} = 0.192 \frac{\text{kg/cm}^2}{\text{m}}$$

## 7. Datos:

- Densidad de arcilla =  $50 \frac{\text{barriles}}{\text{ton. corta}}$
- Densidad de la Barita = 4.3
- Volumen de lodo por preparar =  $160 \text{ m}^3$
- Densidad requerida del lodo = 1.8
- Contenido de aceite = 10%
- Gravedad API del aceite =  $40^\circ$
- Rendimiento de la arcilla =  $100 \frac{\text{barriles}}{\text{ton. corta}}$

NOTA: Suponga que primero se prepara un lodo con arcilla y agua de 15 cp. Y después se añade la barita y el aceite.

Determine:

- a) El peso de arcilla en kilogramos.
- b) El volumen de aceite en litros o  $\text{m}^3$ .
- c) El peso de la Barita en kilogramos.
- d) El volumen de agua en litros o  $\text{m}^3$ .
- e) El % de sólidos en volumen.

**SOLUCIÓN**

$$\text{Rendimiento de la arcilla} = 100 \times 0.175 = 17.5 \frac{\text{m}^3}{\text{ton.}}$$

$$W_A = \frac{1}{17.5} = 0.0572$$

$$V_A = \frac{W_A}{D_A} = \frac{0.0572}{2.5} = 0.0229$$

$$V_H = 1 - V_A = 1.0 - 0.0229 = 0.9771$$

$$(1) D_s = 0.0572 + 0.9771 = 1.034$$

$$D_o = \frac{141.5}{131.5 + \text{API}} = \frac{141.5}{131.5 + 40} = 0.826$$

$$V_o = 0.10$$

$$V_t + V_H = 0.90$$

$$V_t \cdot D_t = V_t \cdot D_t + V_H \cdot D_H + V_o \cdot D_o$$

$$(1 \times 1.8) = (1.034 \times (0.9 - V_H)) + 4.3V_H + (0.10 \times 0.826)$$

$$1.8 = 0.931 - 1.034V_H + 4.3V_H + 0.0826$$

$$1.8 = 1.014 + 3.266V_H$$

$$V_H = \frac{0.786}{3.266} = 0.238$$

$$V_I = 0.90 - V_H = 0.90 - 0.238 = 0.662$$

a)

$$W_A = V_A \cdot D_A = (16 \times 0.662)(0.0229 \times 2.5)$$

$$W_A = 0.606 \text{ ton.}$$

$$W_A = 606 \text{ kg.}$$

b)

$$V_n = 0.10V_F = 0.10 \times 160$$

$$V_n = 16 \text{ m}^3$$

c)

$$W_H = V_H \cdot D_H = (16 \times 0.238)(4.3) = 1.4 \text{ ton.}$$

$$W_H = 16400 \text{ kg.}$$

d)

$$V_w = 16 \times 0.662 \times 0.9771$$

$$V_w = 10.36 \text{ m}^3$$

e)

$$\% \text{ de sólidos en volumen} = \frac{V_A + V_H}{V_F}$$

$$\% \text{ de sólidos en volumen} = \frac{(0.0229 \times 0.662) + 0.238}{1} = 0.253$$

$$\% \text{ de sólidos en volumen} = 25.3\%$$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

8. Datos:

- Densidad del lodo = 1.26
- Densidad de la arcilla = 2.5

- El lodo solamente contiene agua y arcilla.

Determine:

- a) Contenido de sólidos en % en volumen.

SOLUCIÓN:

a)

$$V_w + V_A = 1$$

$$W_F = W_A + W_w$$

$$1.26 = V_w + 2.5(1 - V_w)$$

$$1.26 = V_w + 2.5 - 2.5V_w$$

$$1.5V_w = 1.24$$

$$V_w = 0.827$$

$$V_A = 1 - 0.827 = 0.173$$

**% de sólidos en volumen = 17.3%**

9. Datos:

- Densidad del lodo = 1.92
- 8% de aceite por volumen
- Densidad del aceite = 0.825
- Densidad de la barita = 4.3
- Densidad del agua = 1.0
- Densidad de la arcilla = 2.5
- Contenido de sólidos = 36% en volumen

Determinar:

- a) El % de barita en volumen.  
 b) El % de arcilla en volumen.  
 c) El % de agua en volumen.  
 d) Agua, barita y aceite requerido, para reducir el contenido de sólidos de 160 m<sup>3</sup> del lodo a 32% por volumen, y aún mantener 8% de aceite y densidad del lodo de 1.92

SOLUCIÓN:

$$V_F = 1, V_o = 0.08, V_A + V_R = 0.36, D_F = 1.92, D_o = 0.826, D_A = 2.5, D_R = 4.3$$

$$D_w = 1, W_F = 1.92, W_o = 0.0661, W_A = 2.5(0.36 - V_R), W_o = 4.3D_R, W_w = 0.56$$

$$V_w = 1 - (V_o + V_A + V_H) = 1 - (0.08 + 0.36) = 0.56$$

$$W_F = W_w + W_A + W_H + W_o$$

$$1.92 = 0.56 + 0.9 - 2.5V_H + 4.3V_H + 0.0661$$

$$1.92 = 1.5261 + 1.8V_H$$

$$1.8V_H = 1.92 - 1.5261 = 0.3939$$

$$V_H = 0.219$$

$$V_A = 0.36 - V_H = 0.36 - 0.219$$

$$V_A = 0.141$$

a)

% de barita en volumen = 21.9%

b)

% de arcilla en volumen = 14.1%

c)

% de agua en volumen = 56%

d)

$$\begin{aligned} V_F &= 1 \\ V_o &= 0.08 \\ V_A + V_B &= 0.32 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_F &= 1.92 \\ D_o &= 0.826 \\ D_A &= 2.5 \\ D_B &= 4.3 \\ D_w &= 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_F &= 1.92 \\ W_o &= 0.0661 \\ W_A &= 2.5(0.32 - V_B) \\ W_B &= 4.3V_B \\ W_w &= 0.60 \end{aligned}$$

$$V_w = 1 - (0.080 + 0.32)$$

$$V_w = 0.60$$

$$W_F = W_w + W_A + W_H + W_o$$

$$1.92 = 0.6 + 2.5(0.32 - V_H) + 4.3V_H + 0.0661$$

$$1.92 = 0.6 + 0.8 - 2.5V_H + 4.3V_H + 0.0661$$

$$1.92 = 1.4661 + 1.8V_H$$

$$1.8V_H = 0.4539$$

$$V_H = 0.252$$

$$V_A = 0.32 - 0.252 = 0.068$$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Por lo que, presentando en forma tabular las diferencias en contenido entre los lodos tenemos que:

	Lodo con 36% de sólidos	Lodo con 32% de sólidos
$V_w$	0.56	0.60
$V_H$	0.219	0.252
$V_o$	0.08	0.08
$V_A$	0.141	0.068

Del análisis anterior es evidente que tenemos que tirar un volumen de arcilla de 0.073, o sea el 51.8% del lodo original de 36% de sólidos, quedando:

Componente	Lodo original $0.482 \cdot V_l$	Lodo Final	Volúmenes por añadir $(V_F - V_l)$
$V_w$	0.27	0.60	0.33
$V_H$	0.1055	0.252	0.1465
$V_o$	0.03856	0.08	0.04144
$V_A$	0.068	0.068	0

Por lo que:

$$V_w = 160 \times 0.33 = 52.9 \text{ m}^3$$

$$V_o = 160 \times 0.0414 = 6.62 \text{ m}^3$$

$$W_b = 160 \times 0.1465 \times 4.3 = 100.8 \text{ ton.} = 100800 \text{ kg.}$$

10. Datos:

- Volumen de lodo =  $160 \text{ m}^3$
- Densidad del lodo = 1.20
- A 3,000 metros, se espera encontrar una formación con presión de fondo de  $510 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ . La columna hidrostática del lodo debe ejercer una presión a 3,000 metros de  $530 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ .

Determinar:

- a) La densidad requerida del lodo.
- b) Los kilogramos de barita necesarios para aumentar la densidad hasta la calculada en el inciso anterior.

SOLUCIÓN:

a)

$$P_v = 510 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$P_H = 530 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$P_H = 0.1 \times D \times h$$

$$530 = 0.1 \times D \times 3000$$

$$D = \frac{530}{300}$$

$$D = 1.77$$

b)

$$\frac{V_H}{V_F} = \frac{D_F - D_I}{D_H - D_I}$$

$$\frac{V_H}{160} = \frac{1.77 - 1.20}{4.3 - 1.20} = \frac{0.57}{3.10} = 0.184$$

$$V_H = 160 \times 0.184 = 29.5$$

$$W_H = 29.5 \times 4.3 = 126.8 \text{ ton.}$$

$$W_H = 126800 \text{ kg.}$$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**PROBLEMAS SOBRE LODOS DE PERFORACIÓN  
(SEGUNDA PARTE)**

## 1. Datos:

- Diámetro del agujero = 10 pulgadas
- Tubería de Perforación = 5" de diámetro externo
- Gasto = 420 gal / min.

Calcular:

- a) La velocidad del lodo en el espacio anular en pies / min.
- b) El gasto necesario para mantener una velocidad anular de 100 pies/min

**SOLUCIÓN**

a)

Capacidad anular = 3.06 gal / pie (De tablas)

$$\text{Velocidad anular} = \frac{\text{gasto}}{\text{capacidad}} = \frac{420 \text{ gal/min}}{3.06 \text{ gal/pie}} \Rightarrow 137 \text{ pies/minuto}$$

b)

$$Q = 100 \text{ pies/minuto} \times 3.06 \text{ gal/pie}$$

$$Q = 306 \text{ gal/min}$$

## 2. Datos:

- Volumen necesario de lodo = 160 m<sup>3</sup>
- Rendimiento de la arcilla = 100  $\frac{\text{barriles}}{\text{ton. corta}}$
- Contenido de aceite = 10% en volumen
- Densidad del aceite = 0.8
- Densidad de la arcilla = 2.5
- Densidad de la barita = 4.3
- Densidad necesaria del lodo = 1.8
- Viscosidad del lodo antes de añadir la barita = 15 centipoises.

Determinar:

- a) El volumen de agua necesaria en m<sup>3</sup>.
- b) La arcilla necesaria en kilogramos.
- c) La barita necesaria en kilogramos.

**SOLUCIÓN**

$$\text{Rendimiento de la arcilla} = 100 \times 0.175 = 17.5 \frac{\text{m}^3}{\text{ton.}}$$

$$W_A = \frac{1}{17.5} = 0.0571$$

$$V_A = \frac{0.0571}{2.5} = 0.0229$$

$$V_w = 1 - 0.0229 = 0.9771$$

$$W_I = W_A + W_w = 0.0571 + 0.9771 = 1.034$$

$$D_I = 1.034$$

$$W_F = W_I + W_n + W_o \quad V_n = 0.1 \quad V_I = 0.9 - V_n$$

$$1.8 = 1.034V_I + 4.3V_n + (0.1 \times 0.8)$$

$$1.8 = 1.034(0.9 - V_n) + 4.3V_n + 0.08$$

$$1.8 = 0.931 - 1.034V_n + 4.3V_n + 0.08$$

$$1.8 = 1.011 + 3.266V_n$$

$$V_n = \frac{0.789}{3.266} = 0.242$$

$$V_I = 0.9 - 0.242 = 0.658$$

a)

$$V_w = 0.658 \times 0.9771 \times 160 = 102.9 \text{ m}^3$$

b)

$$W_A = 0.0571 \times 0.658 \times 160 \times 1000 = 6010 \text{ kg.}$$

c)

$$W_n = 0.242 \times 4.3 \times 160 \times 1000 = 166500 \text{ kg.}$$

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

3. Datos:

- Densidad del lodo = 1.68
- Contenido de sólido en % en volumen = 28%
- Densidad de los sólidos de bajo peso = 2.5
- Densidad de los sólidos de alto peso = 4.3
- Porcentaje de aceite = 8%
- Densidad del aceite = 0.8

Determinar:

- El % en volumen de los sólidos de baja densidad.
- El % en volumen de los sólidos de alta densidad.
- El % en peso de los sólidos de baja densidad.
- El % en peso de los sólidos de alta densidad.

## SOLUCIÓN

$$V_o = 0.08$$

$$V_A + V_H = 0.28$$

$$V_W = 1 - (0.08 + 0.28) = 1 - 0.36$$

$$V_W = 0.64$$

$$W_F = W_A + W_H + W_W + W_o$$

$$V_F \cdot D_F = V_A \cdot D_A + V_H \cdot D_H + V_W \cdot D_W + V_o \cdot D_o$$

$$1.68 = 2.5(0.28 - V_H) + 4.3V_H + 0.64 + 0.064$$

$$1.68 = 0.7 - 2.5V_H + 4.3V_H + 0.64 + 0.064$$

$$1.68 = 1.8V_H + 1.404$$

$$V_H = \frac{0.276}{1.8} = 0.153$$

$$V_A = 0.28 - 0.153 = 0.127$$

a)

$$\% \text{ en volumen de arcilla} = \frac{V_A}{V_F} \times 100 = \frac{0.127}{1} \times 100 = 12.7\%$$

b)

$$\% \text{ en volumen de barita} = \frac{V_H}{V_F} \times 100 = \frac{0.153}{1} \times 100 = 15.3\%$$

c)

$$\% \text{ en peso de arcilla} = \frac{W_A}{W_F} \times 100 = \frac{0.127 \times 2.5 \times 100}{1 \times 1.68} = 18.9\%$$

d)

$$\% \text{ en peso de barita} = \frac{W_H}{W_F} \times 100 = \frac{0.153 \times 4.3 \times 100}{1 \times 1.68} = 39.1\%$$

4. Datos:

- Capacidad del sistema = 160 m<sup>3</sup>.
- Densidad del lodo = 1.20
- Se pide aumentar la densidad a 2.16
- Aceite por añadirse = 10% en volumen.
- El lodo original solamente contiene arcilla con un rendimiento de  $25 \frac{\text{barriles}}{\text{ton. corta}}$ .
- Las presas de lodo están llenas antes de añadir la barita.
- Será necesario añadir 8m<sup>3</sup> de agua al añadir la barita para evitar que el lodo se ponga muy viscoso.

Determinar:

- El volumen de lodo original que debe tirarse antes de añadir la barita en m<sup>3</sup>.
- El contenido de sólidos (en % en volumen) del lodo final.

### SOLUCIÓN

a)

$$\begin{aligned}
 W_f &= W_i + W_H + 8 + V_o \cdot D_o & V_o &= 0.1 \times 160 = 16 \\
 (160 \times 2.16) &= 1.20V_i + 4.5V_H + 8 + 12.8 & W_o &= V_o \cdot D_o = 16 \times 0.8 \\
 345.6 &= 1.20V_i + 4.5(136 - V_i) + 20.8 & W_o &= 12.8 \\
 345.6 &= 1.20V_i + 612 - 4.5V_i + 20.8 & V_F &= V_H + V_i + 8 + 16 \\
 4.5V_i - 1.20V_i &= 612 + 20.8 - 345.6 & 160 &= V_H + V_i + 24 \\
 3.3V_i &= 287.2 & V_H + V_i &= 136 \\
 V_i &= \frac{287.2}{3.3} = 87
 \end{aligned}$$

Por lo que el volumen de lodo que se debe tirar es : 160 - 87 = 73 m<sup>3</sup>

b)

$$\text{Rendimiento de la arcilla} = 25 \times 0.175 = 4.38 \frac{\text{m}^3}{\text{ton.}}$$

$$V_A = \frac{87}{4.38 \times 2.5} = 7.95 \text{ m}^3$$

$$V_H = 136 - 87 = 49 \text{ m}^3$$

$$\% \text{ de sólidos por volumen} = \frac{49 + 7.95}{160} = \frac{56.96}{160} = 35.6\%$$

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

## CAPÍTULO VII

## CONCLUSIONES

## CONCLUSIONES

Si se consideran la naturaleza de las pruebas y las características del equipo requerido para realizarlas, con el fin de controlar las propiedades del fluido de perforación, se puede observar la necesidad de contar con laboratorios de campo bien equipados y convenientemente situados en los lugares donde se van a perforar gran cantidad de pozos; sin embargo se debe considerar que la mayoría del equipo es lo suficientemente resistente como para ser llevada y operada en el pozo mismo; razón por la cual se ve la enorme necesidad de que el ingeniero a cargo del pozo tenga el conocimiento necesario para realizar estas pruebas, para de esta manera determinar los métodos correctivos necesarios según sea el caso.

**BIBLIOGRAFÍA**

**“ÁLGEBRA”**

Anfossi Agustín y Flores Meyer Marco A.  
Editorial Progreso, México  
Vigésimo segunda Edición.

**“FÍSICA. CONCEPTOS Y APLICACIONES”**

Paul E. Tippens  
McGraw-Hill, México, 1992

**“GLOSARIO INGLÉS-ESPAÑOL DE TÉRMINOS PETROLEROS”**

Colegio de Ingenieros Petroleros de México, A.C.

**“MANUAL DE FLUIDOS BAROID”**

Dirección Electrónica: <http://www.baroid.com>

**“APPLIED DRILLING ENGINEERING”**

Bourgoyne T. Adam, Millheim K. Keith  
SPE Textbook Series, Richardson Tx, 1984

**“DRILLING AND DRILLING FLUIDS”**

Serie: Developments in Petroleum Science #11  
Autores: Chilingarian G. V. & Vorabutr P.  
Elsevier Scientific publishing Company, New York 1981

**“COMPOSITION AND PROPERTIES OF OIL WELL DRILLING FLUIDS”**

Autor: Walter F. Rogers  
Gulf Publishing Company, Houston, Texas, 1963

**“DRILLING FLUIDS OPTIMIZATION (A practical Approach)”**

Lemus L. James, Azar J. J.  
Ed. Pennwell Books; Tulsa, Oklahoma 1986

**"EL PETRÓLEO"**

Autor: Petróleos Mexicanos  
Dirección General, Biblioteca Central  
XII Edición, México 1972

**"GEOLOGÍA DEL PETRÓLEO"**

Autor: Kenner K. Landes  
Ed. Omega, Barcelona 1977

**"CLAY MICROSTRUCTURE".**

BENNETT, R. H. & HULBERT, M. H.  
Published by D. Reidel Publishing Company, (1986).

**"INDUSTRIAL MINERALS AND ROCKS. SOCIETY OF MINING  
ENGINEERS"**

LEFOND, S. J..  
AIME. New York. 2 Vol. (Edit.) 1983)

**TESIS "PROCEDIMIENTOS Y EQUIPO DE PREVENCIÓN DE BROTES  
EN POZOS PETROLEROS"**

Autores: Cid Martínez José Florentino, Espinosa Ramos Ricardo  
México D.F., 1995

**TESIS "EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS DE FLUIDOS DE CONTROL  
UTILIZADOS EN LA PERFORACIÓN DE LAS FORMACIONES  
SOBREPRESIONADAS EN LA SONDA DE CAMPECHE"**

Autor: Serrano Martínez Hilario  
México D.F., 1994

**TESIS "DISEÑO DE SARTAS DE PERFORACIÓN"**

Autor: González Rubio Fernando.  
México D.F., 1993