

**REESTRUCTURACION TEORICO - PRÁCTICA DE LA GUÍA DE  
LABORATORIO DE LODOS Y CEMENTOS**

**ELISERIO RODRIGUEZ BERMUDEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTADE DE INGENIERÍAS FISICOQUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
BUCARAMANGA**

**2007**

**REESTRUCTURACION TEORICO - PRÁCTICA DE LA GUÍA DE  
LABORATORIO DE LODOS Y CEMENTOS**

**ELISERIO RODRIGUEZ BERMUDEZ**

**Trabajo de grado presentado como requisito  
para optar al título de Ingeniero de Petróleos**

**Director**

**Ing. EMILIANO ARIZA LEON**

**Ingeniero de Petróleos**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
BUCARAMANGA  
2007**

Dedico este libro con gran cariño y gratitud a mi familia, compañeros y amigos

A mi madre y a mi padre (Q.E.P.D) por brindarme la oportunidad de formarme como persona, estudiante y desde ahora como profesional.

A mis hermanos, soporte en todos los aspectos durante mi vida, los mejores de todos.

A Johanna por su amor y colaboración en esta etapa de mi vida, y a su familia por hacerme parte de la suya.

A mis amigos de universidad por hacerme pasar, en esta etapa, los mejores momentos de la vida.

**ELISERIO**

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Ing. EMILIANO ARIZA LEON, quien con su dirección y apoyo colaboró con el éxito de este proyecto.

A la UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER institución que me ofreció la formación académica.

A los técnicos de laboratorio por su ayuda y colaboración.

A mi familia por su apoyo continuo material y espiritual.

A Johanna, por su desinteresada ayuda y por hacerme más feliz la vida.

A Amanda, Nathaly y Marcelita, por toda su colaboración.

A los amigos que con sus consejos y palabras de apoyo colaboraron con este logro.

## CONTENIDO

	Pág.
<b>INTRODUCCION</b>	<b>1</b>
<b>1. INSTRUCCIONES GENERALES DEL LABORATORIO</b>	<b>3</b>
<b>1.1. SEGURIDAD EN EL LABORATORIO</b>	<b>4</b>
1.1.1. Normas de seguridad y prevención de accidentes	5
1.1.2. Riesgos	6
1.1.2.1. Riesgos físicos	6
1.1.2.2. Riesgos químicos	8
<b>1.2. SEGURIDAD EN EL MANEJO DE REACTIVOS QUIMICOS</b>	<b>9</b>
<b>1.3. METODOLOGIA DE TRABAJO</b>	<b>13</b>
1.3.1. Presentación del programa y organización de los grupos	14
1.3.2. Planificación de las actividades en grupo	15
1.3.3. Realización de los ensayos en el laboratorio	15
1.3.4. Análisis de resultados y preparación del informe	17
1.3.5. Evaluación del logro	17
<b>1.4. INFORMES DE LABORATORIO Y EVALUACION (Metodología)</b>	<b>18</b>
1.4.1. Título de la práctica	18
1.4.2. Objetivos	18
1.4.3. Materiales y reactivos	19

1.4.4. Introducción	19
1.4.5. Toma de datos, cálculos y resultados	19
1.4.6. Análisis y evaluación de resultados	20
1.4.7. Conclusiones de la práctica	21
1.4.8. Trabajo de complementación de la práctica	21
14.9. Evaluación del aprendizaje	21
<b>1.5. EQUIPOS Y PROCEDIMIENTOS DE LABORATORIO</b>	<b>22</b>
1.5.1. pH (método del medidor)	22
1.5.2. Alcalinidad	23
1.5.3. Contenido de cloruros	24
1.5.4. Dureza	25
1.5.5. Densidad	26
1.5.6. Viscosidad de embudo (viscosidad marsh)	27
1.5.7. Viscosidades, yield point y resistencia de gel	28
1.5.8. Filtrado API	29
1.5.9. Contenido de arenas	30
1.5.10. Contenido de sólidos y líquidos	32
<b>2. PRUEBAS DE LABORATORIO</b>	<b>34</b>
<b>2.1. PRACTICA No 1. ANALISIS QUIMICO DEL AGUA</b>	<b>35</b>
2.1.1. Objetivos	35
2.1.2. Fundamento teórico	35
2.1.3. Temas de investigación	36
2.1.4. Importancia y aplicación	37
2.1.5. Materiales, equipos y reactivos	37
2.1.6. Procedimiento	38
2.1.7. Cálculos	38
2.1.8. Presentación de resultados	39
2.1.9. Cuestionario	39

<b>2.2. PRACTICA No 2. CONOCIMIENTO DEL EQUIPO</b>	<b>40</b>
2.2.1. Objetivos	40
2.2.2. Fundamento teórico	40
2.2.3. Temas de investigación	42
2.2.4. Importancia y aplicación	42
2.2.5. Materiales, equipos y reactivos	42
2.2.6. Procedimiento	43
2.2.7. Cálculos	43
2.2.8. Presentación de resultados	44
2.2.9. Cuestionario	44
<b>2.3. PRACTICA No 3. RENDIMIENTO DE ARCILLAS</b>	<b>45</b>
2.3.1. Objetivos	45
2.3.2. Fundamento teórico	45
2.3.3. Temas de investigación	45
2.3.4. Importancia y aplicación	46
2.3.5. Materiales, equipos y reactivos	46
2.3.6. Procedimiento	46
2.3.7. Cálculos	47
2.3.8. Presentación de resultados	47
2.9.9. Cuestionario	48
<b>2.4. PRACTICA No 4. PROPIEDADES DE FLUJO Y DENSIDAD DE LOS FLUIDOS</b>	<b>49</b>
2.4.1. Objetivos	49
2.4.2. Fundamento teórico	49
2.4.3. Temas de investigación	50
2.4.4. Importancia y aplicación	51
2.4.5. Materiales, equipos y reactivos	51
2.4.6. Procedimiento	52
2.4.7. Cálculos	52
2.4.8. Presentación de resultados	53

2.4.9. Cuestionario	53
<b>2.5. PRACTICA No 5. ESTUDIO Y CONTROL DE LA FILTRACION</b>	<b>54</b>
2.5.1. Objetivos	54
2.5.2. Fundamento teórico	54
2.5.3. Temas de investigación	55
2.5.4. Importancia y aplicación	55
2.5.5. Materiales, equipos y reactivos	56
2.5.6. Procedimiento	56
2.5.7. Cálculos	57
2.5.8. Presentación de resultados	57
2.5.9. Cuestionario	58
<b>2.6. PRACTICA No 6. CONTAMINANTES Y TRATAMIENTO</b>	<b>59</b>
2.6.1. Objetivos	59
2.6.2. Fundamento teórico	59
2.6.3. Temas de investigación	61
2.6.4. Importancia y aplicación	61
2.6.5. Materiales, equipos y reactivos	61
2.6.6. Procedimiento	62
2.6.7. Cálculos	62
2.6.8. Presentación de resultados	63
2.6.9. Cuestionario	63
<b>2.7. PRACTICA No 7. LODOS SALADOS</b>	<b>64</b>
2.7.1. Objetivos	64
2.7.2. Fundamento teórico	64
2.7.3. Temas de investigación	64
2.7.4. Importancia y aplicación	65
2.7.5. Materiales, equipos y reactivos	65
2.7.6. Procedimiento	66
2.7.7. Cálculos	66
2.7.8. Presentación de resultados	67

2.7.9. Cuestionario	67
<b>2.8. PRACTICA No 8. LODOS DISPERSOS Y NO DISPERSOS</b>	<b>68</b>
2.8.1. Objetivos	68
2.8.2. Fundamento teórico	68
2.8.3. Temas de investigación	69
2.8.4. Importancia y aplicación	69
2.8.5. Materiales, equipos y reactivos	69
2.8.6. Procedimiento	70
2.8.7. Cálculos	70
2.8.8. Presentación de resultados	71
2.8.9. Cuestionario	71
<b>2.9. PRACTICA No 9. LODOS BASE CALCIO</b>	<b>72</b>
2.9.1. Objetivos	72
2.9.2. Fundamento teórico	72
2.9.3. Temas de investigación	72
2.9.4. Importancia y aplicación	73
2.9.5. Materiales, equipos y reactivos	73
2.9.6. Procedimiento	74
2.9.7. Cálculos	75
2.9.8. Presentación de resultados	76
2.9.9. Cuestionario	76
<b>2.10. PRACTICA No 10. LODOS EMULSIONADOS</b>	<b>77</b>
2.10.1. Objetivos	77
2.10.2. Fundamento teórico	77
2.10.3. Temas de investigación	77
2.10.4. Importancia y aplicación	78
2.10.5. Materiales, equipos y reactivos	78
2.10.6. Procedimiento	79
2.10.7. Cálculos	80
2.10.8. Presentación de resultados	80

2.10.9. Cuestionario	80
<b>2.11. PRACTICA No 11. PRUEBA DE AZUL DE METILENO (MBT) Y RESISTIVIDAD</b>	<b>81</b>
2.11.1. Objetivos	81
2.11.2. Fundamento teórico	81
2.11.3. Temas de investigación	82
2.11.4. Importancia y aplicación	82
2.11.5. Materiales, equipos y reactivos	82
2.11.6. Procedimiento	83
2.11.7. Cálculos	84
2.11.8. Presentación de resultados	84
2.11.9. Cuestionario	84
<b>2.12. PRACTICA No 12. PROPIEDADES DE UNA LECHADA DE CEMENTO</b>	<b>85</b>
2.12.1. Objetivos	85
2.12.2. Fundamento teórico	85
2.12.3. Temas de investigación	86
2.12.4. Importancia y aplicación	86
2.12.5. Materiales, equipos y reactivos	86
2.12.6. Procedimiento	87
2.12.7. Cálculos	87
2.12.8. Presentación de resultados	87
2.12.9. Cuestionario	88
<b>2.13. PRACTICA No 13. ANALISIS Y TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES</b>	<b>89</b>
2.13.1. Objetivos	89
2.13.2. Fundamento teórico	89
2.13.3. Temas de investigación	90
2.13.4. Importancia y aplicación	90
2.13.5. Materiales, equipos y reactivos	91

2.13.6. Procedimiento	91
2.13.7. Cálculos	92
2.13.8. Presentación de resultados	92
2.13.9. Cuestionario	93
<b>3. MANUAL INTERACTIVO</b>	<b>94</b>
<b>4. CONCLUSIONES</b>	<b>96</b>
<b>4. RECOMENDACIONES</b>	<b>98</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</b>	<b>100</b>

## LISTA DE TABLAS

Tabla	pág.
1. Ficha de seguridad de reactivos químicos	11
2. Descripción del contenido de la etiqueta	12
3. Propiedades químicas del agua	39
4. Propiedades del lodo y el filtrado	44
5. Datos para el cálculo del rendimiento de arcillas	47
6. Propiedades de flujo	53
7. Resultados, filtrado vs. Tiempo	57
8. Resultados filtrado API	57
9. Efecto de los contaminantes en las propiedades del lodo	60
10. Propiedades de los lodos contaminados y tratados	63
11. Propiedades de los lodos salados	67
12. Propiedades de lodos dispersos y no dispersos	71
13. Comparación de las propiedades de los lodos base calcio	75
14. Propiedades de los lodos base calcio	76
15. Propiedades de los lodos base aceite	80
16. Prueba de azul de metileno y resistividad	84
17. Propiedades de una lechada de cemento	87
18. Propiedades de las aguas residuales tratadas con aglutinante	92

## LISTA DE FIGURAS

Figura	pág.
1. Etiqueta de seguridad de los reactivos químicos	10
2. Diagrama de la metodología del trabajo cooperativo	14
3. pH-metro	22
4. Materiales usados en pruebas químicas	23
5. Balanza de lodos	26
6. Viscosímetro de embudo marsh	27
7. Viscosímetro fann	28
8. Filtroprensa API	29
9. Kit para contenido de arena	31
10. Kit prueba de retorta	32

## RESUMEN

**TITULO:** REESTRUCTURACION TEORICO – PRÁCTICA DE LA GUÍA DE LABORATORIO DE LODOS Y CEMENTOS\*

**AUTOR:** RODRIGUEZ BERMUDEZ, ELISERIO\*\*

**PALABRAS CLAVES:** Lodos, Cementos, Manual, Aguas Residuales, Prácticas, Guía.

### DESCRIPCIÓN

Actualmente hay la necesidad de actualizar los laboratorios de la universidad tanto en la parte de equipos y tecnología, como en la parte bibliográfica. Este trabajo de grado se enfocó en hacer una actualización de los contenidos y hacer una estructura nueva para las prácticas de laboratorio, que complementen la adquisición de nuevos equipos, para mejorar la formación de los egresados.

Inicialmente se hizo una evaluación del desempeño de los estudiantes dentro del laboratorio, encontrando falencias en la parte de seguridad en el manejo del laboratorio y seguridad en la manipulación de los reactivos químicos. Por lo que se implementa en esta guía una completa orientación sobre estos temas. Se implementa una metodología para el trabajo dentro del laboratorio y para la realización de los informes lo cual permitirá el desarrollo ordenado de las actividades. Se hizo un capítulo completo sobre la descripción de los equipos y el procedimiento de cada una de las pruebas que se realizan dentro del laboratorio. Además se actualizó el contenido teórico básico para cada uno de los temas a tratar dentro de la asignatura y se implementó una guía interactiva para facilitar el acceso de los estudiantes a la información.

Se implementa una parte práctica de fácil manejo por parte del estudiante, que contiene aspectos de seguridad, manejo de equipos, procedimientos y trece prácticas con una nueva estructura, adicionando la prueba de aguas residuales. Además los aspectos teóricos los podemos encontrar junto con la parte práctica en la guía interactiva anexa a este libro la cual se sugiere implementar de manera inmediata para el desarrollo de las actividades académicas dentro del laboratorio

---

\*Proyecto de Grado

\*\*Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos.  
Director: Ariza León, Emiliano

## ABSTRACT

**TITLE:** THEORETICAL-PRACTICAL RESTRUCTURING OF THE MANUAL OF MUDS AND CEMENTS LABORATORY \*

**AUTHOR:** RODRIGUEZ BERMUDEZ, ELISERIO\*\*

**KEYWORDS:** Muds, Cements, Manual, Wastewaters, Lab practices, Guide.

### DESCRIPTION

Currently, there is the need to update the laboratories of the university so much in the part of equipment and technology, as in the bibliographical part. This thesis was focused in doing an update of the contents and doing a new structure for the laboratory practices, which complement the acquisition of new equipments, to improve the formation of the gone away ones.

Initially an evaluation of the performance of the students inside the laboratory was done, finding weaknesses in the part of safety in the handling of the laboratory and safety in the manipulation of the chemical reagents. By what a finished orientation is implemented in this guide on these topics. A methodology is implemented for the work inside the laboratory and for the achievement of the reports which will allow to do well organized activities. A complete chapter on the description of the equipments and the procedure of each of the tests that are realized inside the laboratory was written. Also the theoretical basic content was updated for each of the topics to treat inside the subject and an interactive guide was implemented to facilitate the access of the students to the information.

A practical part of easy handling is implemented on the part of the student, which contains safety aspects, handling of equipments, procedures and thirteen practices with a new structure, adding the test of wastewaters. Also we can find the theoretical aspects together with the practical part in the interactive attached guide to this book which we suggest to be used in an immediate way for the development of the academic activities inside the laboratory.

---

\*Degree project

\*\*Faculty of Physics chemistry Engineerings. School of Petroleum Engineering.  
Director: Ariza León, Emiliano

## INTRODUCCION

Los fluidos de perforación son parte fundamental en la perforación de pozos petrolíferos y de ellos depende en gran forma el funcionamiento futuro de cada pozo e incluso del yacimiento, ya que un buen uso de estos nos evita causar problemas en las formaciones, los cuales repercuten en la producción futura.

Para entender el funcionamiento de los diferentes tipos de fluidos de perforación es importante estudiar sus propiedades y la variación de las mismas en caso de contacto con otras sustancias que se pueden encontrar en las diferentes formaciones por donde se pasa mientras se perfora el pozo.

Esta guía práctica fue diseñada para estudiar las propiedades más importantes de los fluidos de perforación, orientando al estudiante a preparar y estudiar los diferentes tipos de lodos, analizar los efectos causados por situaciones durante la perforación en cada tipo de lodo (en condiciones de laboratorio), tomar decisiones sobre los tratamientos o cambios que se deben hacer a los lodos dependiendo de la variación de sus propiedades, y analizar las lechadas de cemento, el uso y sus propiedades.

Teniendo en cuenta las falencias vistas en el factor de seguridad y dado que en los últimos años se hace cada vez más importante este aspecto dentro de todas las industrias, se han agregado a esta guía, unas recomendaciones

básicas en lo que tiene que ver con el correcto uso del laboratorio para trabajar en condiciones seguras y se presenta una orientación para la manipulación segura de los diferentes productos químicos usados durante las pruebas.

Para mejorar el desarrollo del aprendizaje es necesario usar modelos pedagógicos que se adapten a la actividad que se este desarrollando. Para este caso, se ha utilizado un método ya estudiado e implementado desde hace algunos años en el laboratorio.

Teniendo en cuenta las herramientas tecnológicas actuales se desarrolló una guía interactiva, la cual está como anexo a la parte escrita, la cual contiene información importante y de fácil acceso relacionada con los fluidos de perforación.

## **1. INSTRUCCIONES GENERALES DEL LABORATORIO**

Antes de iniciar cualquier labor dentro del laboratorio, es necesario tener en cuenta las recomendaciones de seguridad. Esta seguridad se divide en dos partes, la seguridad en el manejo del espacio físico y la seguridad en el manejo de los productos.

En este capítulo se hacen las recomendaciones de seguridad en el manejo de laboratorio identificando los riesgos que se pueden presentar dentro de su espacio físico, la dotación del personal para un desarrollo seguro de las actividades y la prevención de accidentes. También se hace una orientación en el manejo de reactivos químicos para prevenir cualquier accidente al usarlos.

Para hacer más eficiente la actividad académica, se incluye en este capítulo, una metodología de trabajo que ha sido probada con éxito en este mismo laboratorio, para lograr una utilización óptima del tiempo de trabajo y mejorar el proceso de aprendizaje.

También se dan a conocer las pautas para la presentación de las actividades académicas dentro del laboratorio y de los resultados y su análisis, facilitando la evaluación del aprendizaje.

## **1.1. SEGURIDAD EN EL LABORATORIO**

El laboratorio es un lugar donde se debe trabajar con orden, coordinación y seriedad, esto implica realizar cuidadosamente un experimento siguiendo un plan previamente trazado, hacer anotaciones claras de todas las observaciones, mantener limpio el lugar de trabajo, dar buen uso de los reactivos y equipos y espacio físico.

Cada práctica debe ser preparada con anterioridad a su realización, de modo que se tenga un conocimiento pleno de lo que se va a ejecutar en el laboratorio.

Los desechos que se generan en las prácticas deben ser colocados en los lugares correspondientes. Los desechos sólidos se deben depositar en la cesta de la basura.

Antes de usar cualquier producto químico lea previamente su etiqueta o rótulo y tenga en cuenta las precauciones de manipulación. Al respecto es importante que durante la preparación de las prácticas se consulte la bibliografía sobre los cuidados que se deben tomar para trabajar eficientemente con cada uno de los productos químicos que se van a utilizar; así mismo se debe saber como actuar ante un posible accidente con dichas sustancias. Se recomienda ver el manual de manejo de reactivos químicos en el laboratorio de lodos y cementos.

Evitar contaminar los productos que se utilizan en las prácticas, no debe haber contacto entre sustancias o de los goteros de las sustancias con las superficies de trabajo.

Al terminar cada práctica se debe dejar limpios y ordenados los productos utilizados, los equipos y el lugar de trabajo. Es importante verificar que los equipos eléctricos queden desconectados y que las llaves del agua queden bien cerradas.

#### 1.1.1. NORMAS DE SEGURIDAD Y PREVENCIÓN DE ACCIDENTES

La falta de cuidado y desconocimiento de algunas normas de seguridad son las causas más comunes de accidentes en el laboratorio.

El estudiante debe estar atento para prevenir posibles accidentes y saber como actuar en caso de que estos se presenten:

- El primer día conozca donde se encuentran los extintores. Aprenda a usarlos y no dude en usarlos ante un posible incendio.
- Evite el uso de ropa inflamable. Utilice la bata como medida de protección. Las blusas de laboratorio protegen la ropa de manchas y quemaduras ocasionadas por productos químicos.
- Si se presenta un incendio actúe con calma. Utilice el extintor y evite manifestaciones alarmistas.
- Nunca manipule sustancias químicas directamente con las manos, para tales fines utilice espátulas y use los guantes. Procure lavarse las manos al salir del laboratorio.
- No lleve comidas ni bebidas al laboratorio. No beba en ningún recipiente del laboratorio. No fume.

- Cuando se derrame algo, límpielo inmediatamente.
- Evite las bromas y los juegos en el laboratorio.
- Utilice calzado adecuado (no use sandalias con los dedos descubiertos). Procure tener el pelo largo recogido.<sup>1</sup>

### 1.1.2. RIESGOS

Al hablar de riesgo nos referimos a la probabilidad de ocurrencia de eventos indeseados, como consecuencia de condiciones potencialmente peligrosas creadas por las personas o por los diferentes factores. Los eventos indeseados pueden ser accidentes, lesiones, enfermedades profesionales, incidentes y daños a los equipos o instalaciones.

#### 1.1.2.1. Riesgos Físicos

Son aquellos factores inherentes al proceso u operación en el sitio de práctica, generalmente producto de los equipos e instalaciones. Se pueden incluir temperaturas y presiones altas, electricidad, sustancias deslizantes en el piso y sustancias inflamables o explosivas.

- *Temperatura.* Puede ocasionar quemaduras en la piel al manipular inadecuadamente equipos con temperaturas elevadas.

*Fuentes de temperatura.* En el laboratorio de lodos y cementos son básicamente dos: La retorta de medición de sólidos y la filtroprensa HPHT (High Pressure High Temperature).

- *Presión.* Las presiones medias que se manejan en el laboratorio pueden ocasionar ruptura de mangueras y escape por válvulas y llegar a causar impactos que traen como consecuencias lesiones graves. Su utilización correcta es clave para minimizar los riesgos.

*Fuentes.* La filtroprensa API la cual funciona con aire comprimido a una presión de 100psi y la filtroprensa para filtrado HPHT la cual funciona con unos cilindros de gas comprimido a una presión de 500 psi.

- *Asfixia por sofocamiento.* Puede ocurrir si al entrar al laboratorio éste ha estado cerrado y hay un escape de algún gas tóxico o reactivo químico, pues se disminuye la concentración de oxígeno en el aire. Se debe verificar la ventilación y aireación adecuada antes de entrar.
- *Incendios y explosiones.* La posibilidad de que ocurra un incendio es mayor en el lugar donde se guardan algunas sustancias inflamables y reactivos.

Para que el fuego se produzca es necesaria la presencia de tres elementos básicos: Combustible (hidrocarburos, material orgánico, gases, metales, etc.), Oxígeno (aire) y calor. Todo sistema para apagar incendios está basado en la supresión de uno o más de estos elementos.

*Fuentes de incendios y explosiones.* La mayor parte de los incendios se pueden originar por: calentamiento, fumadores, presencia de chispas eléctricas, desperdicios químicos, líquidos inflamables, llamas abiertas y polvos explosivos.

- *Caídas y golpes.* Los resbalones, caídas y golpes son siempre una causa potencial de fracturas, heridas, contusiones y dislocaciones.

*Fuentes de caídas.* Lo más común es el derrame de lodo, agua, aceite u otro material en el piso del laboratorio; los zapatos con suela muy lisa también contribuyen a las caídas. Además, sillas o equipos que obstruyan el paso o no estén bien colocados en los mesones.

- *Electricidad.* La electricidad es muy útil e indispensable en el laboratorio, tanto para el funcionamiento de la mayoría de los equipos como para crear condiciones adecuadas de iluminación y ventilación. Pero por falta de precaución pueden ocasionarse serios riesgos que atenten contra la integridad de las personas y de las instalaciones del laboratorio.

*Fuentes de electricidad.* Las fuentes principales de riesgo son: Las instalaciones eléctricas (cables, tomas e interruptores) en mal estado; ambientes húmedos y sin el aislamiento adecuado; equipos energizados, electricidad estática, y tormentas eléctricas naturales.

#### 1.1.2.2. Riesgos químicos

En el laboratorio de lodos se usan químicos para identificar algunas propiedades, algunos de éstos pueden causar daños si se manipulan de manera errada. En la siguiente sección se dará una clara explicación sobre el cuidado al manejar estos reactivos, los daños que pueden ocasionar y la forma de tratarlos.

## 1.2. SEGURIDAD EN EL MANEJO DE REACTIVOS QUIMICOS

Antes de hacer uso de cualquier reactivo químico los estudiantes deben buscar la información sobre las características de cada uno, para evitar la ocurrencia de accidentes debidos a la mala utilización de estos.

Los reactivos en sus envases originales cuentan con la información sobre las características principales de cada uno, los riesgos en el manejo y la forma de actuar en caso de presentarse un accidente.

La información que presenta cada ficha de seguridad es la siguiente, como se observa en la ficha de general de seguridad (Tabla 1).

CAS: (Chemical Abstracts Service) número de identificación con el cual es conocido el químico a nivel mundial.

NAME: Identificación genérica, es decir, representa la identificación dada, ya sea por nomenclaturas químicas o comerciales.

FORMULE: Fórmula química del compuesto.

PHYSICAL PROPIERTIES: Las propiedades físicas comúnmente dadas son: peso específico, punto de fusión, punto de ebullición, solubilidad y otras propiedades específicas para cada compuesto.

CHARACTERISTICS: Descripción fisicoquímica de los reactivos

TLV (Treshold level value): Expresada en ppm, representa el límite de ingestión o exposición al producto sin que ocurran daños irreversibles a la salud de las personas.

HAZARDS SYMPTOMS (Síntomas de peligro): Síntomas presentados en la salud, en caso de intoxicación o contacto, tales como dolor de cabeza, de estómago, ardor, etc.

PREVENTIVE MEASURES (Medidas preventivas): Medidas tendientes a minimizar los daños en la salud que se pueden presentar por la manipulación de cada reactivo, como uso de guantes, gafas, trajes especiales, filtros, etc.

FIRE EXTINGUISHING (Extinción de fuego): Productos utilizados para controlar un incendio en caso de combustión de este producto.

SPILLAGE (Derrame): Información de cómo recoger el reactivo en el caso de que se presente un derrame.

STORAGE (Almacenamiento): Forma correcta de almacenar un producto y el ambiente para que se conserven sus propiedades fisicoquímicas y no sean factor de riesgo para las personas que los manipulen.

LABELING (Etiqueta): La etiqueta de los reactivos en este manual está representada por un rombo con cuatro divisiones y números en cada una de ellas que representan el efecto sobre la salud, inflamabilidad y reactividad.

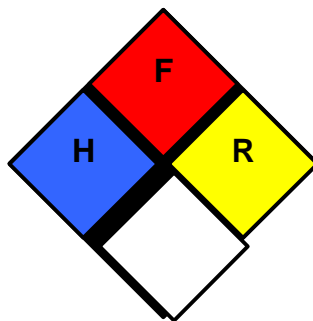



Figura 1. Etiqueta de seguridad de los reactivos químicos  
Fuente. Manual de seguridad de reactivos químicos

Tabla 1. Ficha de seguridad de reactivos químicos.

<b>CHEMICAL SAFETY SHEETS</b> <b>(FICHA DE SEGURIDAD DE REACTIVOS QUIMICOS)</b>		
<b>GUIA DE INTERPRETACION</b>		
<b>CAS: N° de identificación a nivel mundial</b>	<b>NAME: Nombre del compuesto</b>	<b>FORMULE: Fórmula química</b>
<b>PHYSICAL PROPERTIES (PROPIEDADES FISICAS)</b>	<b>CHARACTERISTICS (CARACTERISTICAS)</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• PUNTO DE EBULLICION</li> <li>• PUNTO DE FUSION</li> <li>• PESO ESPECIFICO</li> <li>• PESO MOLECULAR</li> <li>• PRESION DE VAPOR</li> </ul>	DESCRIPCION FISICO-QUIMICA DEL REACTIVO: <ul style="list-style-type: none"> <li>• OLOR</li> <li>• COLOR</li> <li>• VOLATILIDAD</li> <li>• COLOR DE VAPORIZACION</li> <li>• SOLUBILIDAD</li> </ul>	
TLV: Representa el límite permisible para humanos a exposición continua		
<b>HAZARDS SYMPTOMS (SINTOMAS DE PELIGRO)</b>	<b>PREVENTIVE MEASURES (MEDIDAS PREVENTIVAS)</b>	<b>FIRE EXTINGUISHING (APAGAR EL FUEGO)</b>
SINTOMAS PRESENTADOS EN LA SALUD, EN CASO DE INTOXICACION, INGESTION O EXPOSICION CONTINUA A LOS REACTIVOS; TALES COMO DOLOR DE CABEZA, DE ESTOMAGO, QUEMADURAS Y ALERGIAS EN LA PIEL	MEDIDAS TENDIENTES A EVITAR DAÑOS EN LA SALUD QUE SE PUEDEN PRESENTAR POR LA MANIPULACION DE LOS REACTIVOS. ELEMENTOS QUE DEBEN UTILIZARSE, COMO GAFAS, GUANTES, MASCARAS.	PRODUCTOS UTILIZADOS PARA CONTROLAR UN INCENDIO EN CSO DE COMBUSTION A CAUSA DEL PRODUCTO. PROCEDIMIENTO PARA LA EXTINCION DEL FUEGO
<b>SPILLAGE (DERRAME)</b>	<b>STORAGE (ALMACENAMIENTO)</b>	<b>LABELING (ETIQUETA)</b>
INFORMACION DE CÓMO RECOGER EL REACTIVO EN CASO DE DERRAME	FORMA CORRECTA DE ALMACENAR UN PRODUCTO Y EL AMBIENTE PARA QUE CONSERVE SUS PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS Y NO PRESENTE PELIGRO	
<b>NOTAS:</b> El uso específico que se le da al reactivo en el laboratorio Descripción sobre primeros auxilios		
<b>TLV:</b> TRESHOLD LEVEL VALUE (ppm)		

Fuente. Manual de seguridad de los reactivos químicos.

Tabla 2. Descripción del contenido de la etiqueta.

<b>ETIQUETA</b>	
<b>H</b>	<p><b>HEALTH (SALUD): TOXICIDAD O EFECTOS SOBRE LA SALUD. UN NUMERO EN EL LUGAR DONDE SE ENCUENTRA LA H SIGNIFICA:</b></p> <p>4 PUEDE CAUSAR LA MUERTE            3 DAÑOS IREEVERSIBLES            2 INCAPACIDAD TEMPORAL, DAÑO RESIDUAL            1 DAÑO MINIMO            0 NO OFRECE PELIGRO INMEDIATO</p>
<b>F</b>	<p><b>FIRE (FUEGO): INFLAMABILIDAD. UN NUMERO EN EL LUGAR DONDE SE ENCUENTRA LA F SIGNIFICA:</b></p> <p>4 MATERIALES QUE SE VAPORIZAN A PRESION ATMOSFERICA            3 MATERIALES LIQUIDOS O SOLIDOS QUE SE PRENDEN A CUALQUIER TEMPERATURA            2 MODERADOS, PUEDEN PRENDERSE A TEMPERATURA AMBIENTE            1 SE PUEDEN PRENDER AL CALENTARSE            0 NO SE PRENDEN</p>
<b>R</b>	<p><b>REACTIVITY (REACTIVIDAD): UN NUMERO EN EL LUGAR DONDE SE ENCUENTRA LA R SIGNIFICA:</b></p> <p>4 MATERIAL EXPLOSIVO A TEMPERATURAS NORMALES            3 EXPLOSIVOS PERO NECESITA UN INICIADOR            2 PUEDEN OCURRIR EXPLOSIONES A ALTAS TEMPERATURAS Y ALTAS PRESIONES            1 EXPLOSIVOS A TEMPERATURAS Y PRESIONES MUY ELEVADAS            0 NO SON EXPLOSIVOS, AUN EN PRESENCIA DE FUEGO</p>
<p><b>¡PRECAUCION!</b> : CUANDO EN LA FICHA DE UN REACTIVO DENTRO DEL ROMBO NO SE PRESENTA NINGUN NUMERO SIGNIFICA QUE NO SE LE HE REALIZADO EL ESTUDIO, LO MISMO SUCEDE CON EL TLV. POR TANTO SE DEBE TENER ESPECIAL CUIDADO CON SU MANEJO</p>	

Fuente. Manual de seguridad de los reactivos químicos.

### **1.3. METODOLOGIA DE TRABAJO**

El método recomendado a seguir es el trabajo cooperativo, con el cual se han logrado buenos resultados de motivación y aprendizaje por parte de los estudiantes; este método fue implementado en el laboratorio de lodos y cementos desde el año 2002.

Hay varios métodos especializados de aprendizaje cooperativo diseñados para que los alumnos adopten roles específicos con el objetivo de desarrollar una actividad en equipo.

El método más ampliamente investigado y exitoso es el de investigación grupal iniciado por John Dewey, quien consideraba que la investigación en el aula era imprescindible para poder enfrentar los problemas complejos de la vida en democracia. El aula es una empresa cooperativa en donde el profesor y el alumno construyen el proceso de aprendizaje sobre una planificación común basada en experiencias, aptitudes y necesidades con un máximo grado de compromiso.

Basado en el método de investigación grupal, con el aporte por la experiencia y haciendo algunas variantes para adaptarlo al trabajo de laboratorio en equipo de acuerdo a la experiencia, se plantea el siguiente procedimiento (Figura 2).

Este método ha sido muy útil en el trabajo de laboratorio, ya que se ha usado en años anteriores por parte de uno de los docentes que orientan esta asignatura.

Figura 2. Diagrama de la metodología del trabajo cooperativo.



Fuente. Aprendizaje cooperativo como estrategia metodológica para el trabajo en el laboratorio

### 1.3.1. PRESENTACIÓN DEL PROGRAMA Y ORGANIZACIÓN DE LOS GRUPOS

Esta etapa está dedicada a la organización. El docente debe presentar el programa de fundamentación y ensayos (de acuerdo a los lineamientos del

nuevo pensum de la carrera de ingeniería de petróleos) que está diseñado para el semestre, mostrando la importancia y aplicación práctica de los resultados obtenidos en el laboratorio; da a conocer las normas de seguridad a seguir y fomenta el cumplimiento de las mismas. Además solicitará a cada uno de los estudiantes su presentación personal ante la clase y sus expectativas y sugerencias.

Los estudiantes harán su presentación y plantearán sus inquietudes e intereses. Se analizarán las sugerencias para llegar a un consenso y definirán los objetivos y metas de comprensión.

El profesor debe fijar con los estudiantes la forma de evaluación, la cual debe comprender evaluación teórica y práctica.

El paso final de esta etapa es la conformación de los equipos de trabajo basado en los intereses de los alumnos. El profesor delimita el número de integrantes por equipo que idealmente no debe pasar de 4.

### 1.3.2. PLANIFICACIÓN DE LAS ACTIVIDADES EN GRUPOS

Una vez conformados los grupos, los integrantes de cada uno de ellos se reunirán para estudiar los fundamentos teóricos, expresar diferentes puntos de vista y preparar la próxima prueba de laboratorio.

### 1.3.3. REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS EN EL LABORATORIO

Antes de hacer la práctica, es importante que el docente abra un espacio para indagar en los estudiantes por la fundamentación y la preparación de los ensayos que van a realizar, resolver dudas, compartir puntos de vista,

brindar la orientación y asesoría haciendo énfasis en la importancia del trabajo en equipo, y el análisis de resultados.

Se debe contar con un espacio físico adecuado que cumpla con las normas de seguridad, tenga los equipos y elementos necesarios para realizar los ensayos.

Posteriormente cada grupo reparte las tareas entre sus integrantes y cada estudiante realiza una parte de la experiencia de acuerdo a lo planeado previamente contando con su guía de laboratorio e implementos necesarios; aquí es donde se debe dedicar tiempo hasta terminar. La división de labores o tareas al interior de un grupo de aprendizaje cooperativo, permite al grupo ser más eficiente en el desarrollo de sus actividades en tanto que cada uno puede hacer lo suyo, guiado por el profesor, teniendo en cuenta que su aporte individual beneficia al grupo y a los objetivos trazados; llevando a tener buena autoestima e imagen de una persona útil y capaz.

En esta etapa el docente debe hacer seguimiento a los grupos, para verificar que estén trabajando bien y orientarlos; él se convierte en un facilitador y permite la comunicación.

Durante los ensayos es importante que los integrantes del grupo se ayuden y compartan sus observaciones. Cuando cada uno termina su parte realiza su propio análisis de resultados y saca un breve resumen.

#### 1.3.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y PREPARACIÓN DEL INFORME FINAL

Esta es una etapa de que incluye actividades intelectuales tales como análisis de resultados e integración de las partes como un todo y sacar las conclusiones.

Es recomendable hacer el informe ahí mismo en el laboratorio, para facilitar la integración, el diálogo, la discusión y la labor de equipo.

#### 1.3.5. EVALUACIÓN DEL LOGRO

Al final el profesor realizará preguntas sobre los resultados y puede socializarlos para toda la clase. Debe asegurar que todos los participantes asuman su papel.

Debe evaluar cómo investigaron ciertos aspectos, cómo aplicaron su conocimiento a luz de nuevas experiencias, cómo hicieron el análisis y conclusiones a partir de datos.

Se puede hacer una o dos evaluaciones individuales por semestre relacionadas con la aplicación de los fundamentos teóricos; También una evaluación práctica al grupo a final de semestre.

Posteriormente los integrantes del equipo se reunirán nuevamente para preparar la próxima práctica de laboratorio.

## **1.4. INFORMES DE LABORATORIO Y EVALUACION (Metodología)**

El poder comunicar los resultados de una prueba o experimento en forma tal que sean comprensibles y útiles para otros es tal vez más importante que obtener datos confiables. Con la elaboración de informes se busca preparar al estudiante para que más tarde en el ejercicio de su carrera profesional le sea fácil publicar un artículo científico, presentar informes de actividades, elaborar propuestas, etc.

Existen varios formatos sobre como reportar los resultados de un experimento. Las secciones que se indican a continuación son una adaptación a las necesidades del laboratorio de lodos y cementos, de las que contiene por lo general un artículo para su publicación, con algunos ítems adicionales:

### **1.4.1. TÍTULO DE LA PRÁCTICA**

El título debe ser conciso, pero completo, en forma tal, que se entienda claramente el objeto del experimento. Por ejemplo, “Determinación del contenido de sólidos en un lodo de perforación”.

### **1.4.2. OBJETIVOS**

Los objetivos deben estar muy relacionados con el título del experimento, expresados en forma clara y concisa. Por lo general la primera palabra con la que se inicia un el objetivo es un verbo en infinitivo. Ejemplo, “Determinar el contenido de sólidos en un lodo de perforación”.

En esta parte del manual el estudiante debe plasmar lo que espera lograr o aprender con la realización de cada práctica.

### 1.4.3. MATERIALES Y REACTIVOS

En esta parte se acostumbra a enumerar los reactivos, los materiales y equipos que se requieren para realizar la práctica.

El estudiante deberá calibrar los equipos antes de usarlos.

### 1.4.4. INTRODUCCIÓN

En la introducción se puede indicar la finalidad del experimento y presentar un breve resumen de la teoría, donde se citen las ecuaciones pertinentes. Se recomienda que la teoría sea lo más corta posible.

Esta parte debe ser realizada por el estudiante antes de ir al laboratorio.

### 1.4.5. TOMA DE DATOS, CÁLCULOS Y RESULTADOS

- En lo posible tenga una libreta o cuaderno especial para tomar los datos en el laboratorio.
- Anote directamente en la libreta y con tinta todos los datos que obtenga en el laboratorio. Evite hacer anotaciones en hojas sueltas, esto podría ocasionar la pérdida de datos.
- Identifique los datos de una operación con referencias. Por ejemplo en el caso de hacer filtración de diferentes lodos se puede identificar cada muestra con el rótulo:

Contenido de sólidos

Lodo 1.....	0.5 %
Lodo 2.....	1.0 %
Lodo 3.....	0.85 %

- Procure que todas sus anotaciones sean claras y precisas.
- Registrar de manera clara las cantidades (gotas de reactivos) utilizadas, los cambios físicos que se observen (cambios de color en las titulaciones), lecturas exactas de los equipos (viscosímetros o niveles en las probetas) y los tiempos de prueba.
- En esta parte se describen las formulas utilizadas para los cálculos. Todos los símbolos deben definirse en el momento que aparecen por primera vez.
- Los resultados deben ser claros y precisos, que indiquen lo que el estudiante pudo observar y que pueda ser contrastados y analizados con base en los fundamentos teóricos.
- En lo posible reporte sus datos en forma de tablas o gráficas. Cada tabla o gráfica debe estar identificada con un número y título.
- Los resultados obtenidos deben ser los finales (ej. ppm  $\text{Cl}^-$ ) de manera que sea más fácil la visualización de estos para realizar el análisis y evaluación de los resultados.

#### 1.4.6. ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS

El análisis y evaluación de resultados corresponde a un argumento lógico, basado en los resultados y no en una repetición de estos. En ocasiones, puede ser de utilidad comparar los resultados obtenidos en la prueba con los que la literatura permite deducir (Ejemplo: un lodo salado debe contener mayor cantidad de iones  $\text{Cl}^-$  que un lodo normal), observar si hay discrepancias respecto a los valores aceptados o esperados, indicando las causas y algunas sugerencias que puedan mejorar el método experimental.

En esta parte, el estudiante deberá hacer un análisis y evaluación de los resultados por objetivos y de la práctica total.

#### 1.4.7. CONCLUSIONES DE LA PRÁCTICA

Siempre debe sacarse una conclusión concisa y precisa del trabajo realizado tomando en cuenta los objetivos trazados.

#### 1.4.8. TRABAJO DE COMPLEMENTACION DE LA PRACTICA

El cuestionario constará de preguntas de dos tipos: unas que tienen que ver con lo que sucede en el laboratorio al hacer la práctica y las otras serán unos cuestionamientos a la teoría en la que se basa cada práctica. Estas deberán tener respuestas precisas.

Es importante el desarrollo de los trabajos de complementación puesto que son los que permiten al estudiante hacer un análisis de cuanto ha aprendido y reforzar los contenidos el los cuales se presentan falencias.

La cantidad y enfoque de las preguntas, es potestad del docente, pero siempre deberán ser planteadas para que el estudiante adquiriera las mejores habilidades, conocimientos y aprendizaje para su futuro desempeño profesional.

#### 1.4.9. EVALUACIÓN DEL APRENDIZAJE

Durante la práctica de laboratorio o al finalizar esta el profesor podrá hacer preguntas sobre el desarrollo de la práctica y lo resultados, y socializarlos con la clase.

## 1.5. EQUIPOS Y PROCEDIMIENTOS DE LABORATORIO

### 1.5.1. pH (método del medidor):

Figura 3. pH-metro



Fuente. UIS laboratorio de lodos y cementos.

1. Recoger una muestra de fluido (agua para efectos de esta práctica).
2. Dejar que las muestras de fluido y que las soluciones amortiguadoras alcancen la temperatura ambiente.
3. Sumergir un termómetro limpio en la solución.
4. Ajustar el control de temperatura del medidor de pH a la temperatura de la solución.
5. Calibrar el pH-metro.
6. Enjuagar con agua destilada y repasar a seco la punta de prueba.
7. Sumergir la punta de prueba en la muestra que se va a probar, y revolver.

8. Parar de revolver (después de 10-20 segundos) y esperar a que la lectura se estabilice.
9. Registrar la lectura del pH-metro.

### 1.5.2. ALCALINIDAD

Figura 4. Materiales usados en pruebas químicas.



Fuente. [www.ofite.com](http://www.ofite.com).

1. Recoger una muestra de filtrado usando el método de filtrado API (agua para efectos la primera práctica).
2. Pasar 1ml de filtrado a la tasa de titulación.
3. Colocar de 10 a 15 gotas de solución indicadora de fenolftaleína en el plato de titulación.

Si...	Entonces...
Hay un cambio de color,	Vaya al paso 4
No hay cambio de color,	$P_f$ es cero. Vaya al paso 6

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

5. Registrar como  $P_f$  la cantidad en ml de solución de ácido sulfúrico usada para lograr el cambio de color.
6. Agregar de 10 a 15 gotas de solución de indicador metil naranja en la mezcla de filtrado.
7. Continuar dosificando con la solución de ácido sulfúrico hasta que el color cambie de naranja a rosado salmón.
8. Registrar la cantidad total de solución de ácido sulfúrico usada, incluyendo la cantidad del ensayo  $P_f$ , como valor  $M_f$ .

### 1.5.3. CONTENIDO DE CLORUROS

1. Recoger muestra de filtrado usando el método de filtrado API (agua para efectos de esta práctica).
2. Transferir 1 ml o más de filtrado a la tasa de titulación. Tomar nota del color del filtrado para el paso 5.
3. Agregar 20 a 50 ml de agua destilada al filtrado de la tasa de titulación.
4. Agregar 10 a 15 gotas de solución indicadora de fenolftaleína.

Si...	Entonces...
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 la tasa 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. Agregar la solución de nitrato de plata en la tasa de titulación hasta que el color cambie de amarillo a naranja o naranja-rojo.
8. Registrar la cantidad en ml de solución de nitrato de plata usada.

#### 1.5.4. DUREZA

1. Recoger una muestra de filtrado usando el método de filtrado API (agua para efectos de esta práctica).
2. Agregar aproximadamente de 20 a 50 ml de agua destilada en la tasa de titulación.
3. Agregar de 10 a 15 gotas de solución de versenato amortiguadora de dureza en la tasa de titulación.
4. Agregar de 10 a 15 gotas de solución versenato indicadora de dureza en el plato de titulación.

Si...	Entonces...
Aparece un color rojo o violeta,	Ir al paso 5.
Aparece un color azul,	Ir al paso 6.

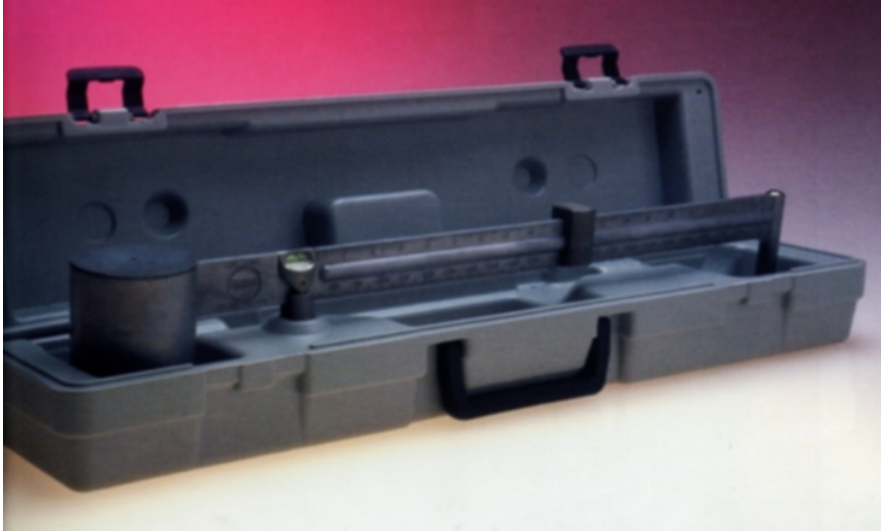
5. Dosificar lentamente con el versenato titulador hasta que el color cambie de rojo o violeta a azul.
6. Transferir 1 ml o más de filtrado al plato de titulación.

Si...	Entonces...
Aparece un color rojo o violeta,	Ir al paso 7.
El color azul se mantiene,	El ml de THTS es cero. Ir al paso 9.

7. Dosificar lentamente con el THTS hasta que el color cambie de rojo o violeta a azul, gris o verde.
8. Registrar el volumen de THTS requerido para dosificar el filtrado hasta el punto final.

### 1.5.5. DENSIDAD

Figura 5. Balanza de lodos.



Fuente. Internet.

1. Colocar el pedestal de base o caja portadora sobre una superficie plana y a nivel.
2. Tomar una muestra de fluido.
3. Medir y registrar la temperatura de la muestra; transferir la muestra al jarro de la balanza de lodo.
4. Golpear suavemente el costado del jarro de la balanza de lodo con la tapa del jarro para hacer salir el aire (el aire o el gas atrapado en el lodo pueden ocasionar mediciones erróneas).
5. Colocar la tapa en la taza de la balanza de lodo con un movimiento de torsión y asegurándose que algo de la muestra de prueba sea expulsado por el agujero de ventilación de la tapa.
6. Tapar con un dedo el agujero de ventilación y limpiar la balanza con agua, aceite base, o solvente. Limpiar cualquier exceso de agua, aceite base, o solvente.

7. Calzar el cuchillo de la balanza en el fulcro de apoyo y equilibrar la balanza haciendo correr el cursor a lo largo del brazo.
8. Registrar la densidad del costado del cursor más próximo a la taza de la balanza (la flecha del cursor apunta a este lado). Registrar la medición con precisión de 0.1 lb/gal, 1 lb/pie<sup>3</sup>, 0.01g/cm<sup>3</sup>, o 10.0 lb/pulg<sup>2</sup>/1000 pies.

#### 1.5.6. VISCOSIDAD DE EMBUDO (VISCOSIDAD MARSH)

Figura 6. Viscosímetro de embudo marsh



Fuente. Internet. [www.ofite.com](http://www.ofite.com)

1. Recoger una muestra de fluido.
2. Tapar con un dedo el orificio del embudo y echar la muestra de fluido a través del tamiz hasta que el nivel de la muestra llegue a la cara inferior del tamiz
3. Sostener el embudo sobre la jarra de lodo graduada.
4. Retirar el dedo que tapa el orificio del embudo y simultáneamente poner a contar el cronómetro.

5. Registrar como viscosidad de embudo Marsh el tiempo que tarda para que  $\frac{1}{4}$  de galón de la muestra salga por el embudo.
6. Medir y registrar la temperatura de la muestra del fluido.

#### 1.5.7. VISCOSIDADES, YIELD POINT Y RESISTENCIA DE GEL.

Figura 7. Viscosímetro fann



Fuente. [www.ofite.com](http://www.ofite.com)

1. Recoger una muestra de fluido.
2. Colocar la muestra en la taza de viscosímetro.
3. Sumergir la manga del rotor del viscosímetro exactamente hasta la línea marcada.
4. Calentar la muestra a la temperatura seleccionada.
5. Hacer girar la manga del viscosímetro a 600 rpm hasta obtener una lectura estable en el dial. Registrar la lectura del dial ( $\theta_{600}$ )
6. Hacer girar la manga del viscosímetro a 300 rpm hasta obtener una lectura estable del dial. Registrar la lectura del dial ( $\theta_{300}$ ).

7. Revolver la muestra durante 10 a 15 segundos a 600 rpm, y después dejar reposar el lodo durante 10 segundos.
8. Hacer girar la manga del viscosímetro a 3 rpm hasta obtener una máxima lectura en el dial.
9. Registrar la máxima lectura del dial obtenida como la resistencia de gel de 10 segundos  $\text{lbf}/100 \text{ pies}^2$ .
10. Revolver nuevamente la muestra durante 10 a 15 segundos a 600 rpm, y después reposar la muestra sin tocar durante 10 minutos.
11. Hacer girar la manga del viscosímetro a 3 rpm hasta obtener la máxima lectura del dial.
12. Registrar la máxima lectura del dial obtenida como resistencia de gel de 10 minutos,  $\text{lbf}/100 \text{ pies}^2$ .

#### 1.5.8. FILTRADO API

Figura 8. Filtroprensa API.



Fuente. [www.ofite.com](http://www.ofite.com)

1. Recoger una muestra de fluido.
2. Armar la celda con el papel de filtro en su lugar.

3. Echar la muestra en la celda hasta  $\frac{1}{2}$  de pulgada (13 mm) de la parte superior.
4. Meter la celda dentro del marco; colocar y ajustar la tapa sobre la celda.
5. Colocar un cilindro graduado seco debajo del tubo de drenaje.
6. Cerrar la válvula de alivio y ajustar el regulador para que sea aplicada una presión de 100 psi (690 kPa) en 30 segundos o menos.
7. Mantener la presión en la celda a 100 psi (690 kPa) durante 30 minutos.
8. Cerrar el flujo con el regulador de presión y abrir con cuidado la válvula de alivio.
9. Registrar el volumen de filtrado en el cilindro graduado con precisión del más próximo ml.
10. Nota: Si se usa una filtro prensa de media área, multiplicar por 2 el volumen de filtrado.
11. Aflojar la presión, verificar que ha sido descargada toda la presión, y retirar la celda del marco.
12. Desarmar la celda y descartar el lodo.
13. Dejar la torta de lodo (mud cake) sobre el papel y lavar ligeramente con el fluido base para quitar todo el exceso de lodo.
14. Medir y registrar el espesor de la torta de lodo (mud cake) con aproximación de  $\frac{1}{32}$  de pulgada (1.0 mm).

### 1.5.9. CONTENIDO DE ARENAS

Figura 9. Kit para contenido de arena.



Fuente. [www.ofite.com](http://www.ofite.com).

1. Recoger una muestra de fluido.
2. Echar fluido en el tubo de contenido de arena hasta la marca del lodo.
3. Agregar fluido base (agua o aceite) hasta la marca del agua.
4. Tapar con un dedo el tubo de contenido de arena y sacudir fuertemente el tubo.
5. Volcar el contenido del tubo de contenido de arena sobre el tamiz de malla 200. Desechar el fluido que pasa a través del tamiz. Si es necesario repetir los pasos del 3 al 5 hasta que el tubo de contenido de arena esté limpio.
6. Lavar cuidadosamente la arena del tamiz con fluido base (agua o aceite) para quitar todo lodo remanente.
7. Colocar la parte ancha del embudo por encima del tamiz e invertir lentamente el tamiz y el embudo, poniendo la punta del embudo dentro de la boca del tubo de contenido de arena.
8. Rociar el tamiz con fluido base de modo que la arena del tamiz caiga dentro del tubo.

9. Colocar el tubo en posición completamente vertical y dejar que se asiente la arena.
10. Leer el porcentaje de arena en el tubo de contenido de arena y registrar el contenido de arena como porcentaje en volumen.

#### 1.5.10. CONTENIDO DE SÓLIDOS Y LÍQUIDOS

Figura 10. Kit prueba de retorta.



Fuente. [www.ofite.com](http://www.ofite.com)

1. Recoger una muestra de fluido y enfriarla aproximadamente a 80 °F (27 °C).
2. Llenar la cámara superior de la retorta con lana de acero muy fina.
3. Lubricar las roscas de la taza de muestra y el condensador con una capa fina de lubricante/compuesto contra agarrotamiento (esto evita la fuga de vapor y facilita el desmontaje del equipo).
4. Llenar la taza de muestra de la retorta; hacer girar la tapa lentamente; asegurarse de que algo de la muestra sea expulsada por el orificio de ventilación de la tapa.

5. Limpiar el exceso de lodo y atornillar la taza de muestra de la retorta a la cámara superior de la retorta.
6. Colocar la retorta en el bloque aislador y tapar el aislador.
7. Poner el receptor volumétrico debajo del drenaje del condensador.
8. Calentar la muestra hasta que deje de pasar líquido a través del tubo de drenaje del condensador, o hasta que se apague la luz termostáticamente.
9. Retirar el receptor volumétrico y examinar el líquido recuperado.

Si...	Entonces...
Hay sólidos en el líquido,	Se ha escapado lodo entero al hervir en la taza de muestra y hay que repetir el ensayo.
Existe una banda de emulsión,	Calentar lentamente el receptor volumétrico a 120 °F (49 °C).

10. Dejar que el receptor volumétrico se enfríe hasta aproximadamente 80 ° F (27 °C).
11. Leer y registrar los volúmenes de aceite, o sintético y agua en el receptor volumen.

## **2. PRUEBAS DE LABORATORIO**

El laboratorio de lodos y cementos como asignatura nos permite analizar los diferentes tipos de lodos y cementos, sus propiedades, el cambio de éstas en determinadas situaciones de contaminación o cambio de ambientes y el manejo de los problemas que se presentan. También se hace un análisis de las aguas de vertimiento contaminadas a causa de su uso en operaciones de perforación.

Cada una de las prácticas está diseñada de forma tal que el estudiante antes de realizar la práctica sepa exactamente que es lo que va a analizar, cual es la utilización práctica de los resultados obtenidos y además tener un conocimiento teórico previo mediante el estudio sugerido en los temas de investigación teórico, para lo cual se sugiere ver el manual interactivo. Lo anterior con el objetivo de analizar los resultados obtenidos en la práctica y hacer un debate de opinión sobre cada una de ellas.

Se sugiere una manera de presentación de resultados que permite hacer un mejor análisis comparativo de las diferentes muestras analizadas y por último se realizan unas preguntas las cuales dependen, tanto de los resultados de las prácticas, como de la investigación teórica previa.

En este capítulo se encuentran nombres de aditivos comerciales, los cuales deberán ser investigados previamente para definir su función.

## 2.1. PRACTICA No 1. ANALISIS QUIMICO DEL AGUA

### 2.1.1. OBJETIVOS

- Analizar las características químicas del agua ( $P_f$ ,  $M_f$ , pH, ppm  $Cl^-$ , dureza, ppm de  $Ca^{++}$ )
- Ver como se afectan las características químicas del agua al agregarle diferentes sustancias.

### 2.1.2. FUNDAMENTO TEORICO

*pH.* El termino pH es usado para expresar la concentración de iones de hidrógeno en una solución acuosa. El pH esta definido por:

$$pH = -\log[H^+]$$

Donde  $[H^+]$  representa la concentración de iones de hidrógeno en moles por litro.

Para el agua pura,  $[H^+] = [OH^-] = 1.0 \times 10^{-7}$ , y el pH es igual a 7. En muchas soluciones acuosas el producto  $[H^+][OH^-]$  permanece constante, un incremento en  $[H^+]$  requiere de un correspondiente decrecimiento de  $[OH^-]$ . Una solución con  $[H^+] > [OH^-]$  es denominada como solución acida, y una solución donde  $[H^+] < [OH^-]$  es denominada solución alcalina.

*ALCALINIDAD.* La alcalinidad hace referencia a la capacidad de una solución o una mezcla de reaccionar con un ácido. La alcalinidad a la fenolftaleina hace referencia a la cantidad de ácido requerido para reducir el pH a 8.3, punto final de la fenolftaleina. La alcalinidad a la fenolftaleina de un

lodo y del filtrado del lodo es llamada  $P_m$  y  $P_f$  respectivamente. Del test de  $P_f$  incluye únicamente el efecto de las bases y sales disueltas mientras que el  $P_m$  incluye tanto el efecto de las bases y las sales disueltas como de las suspendidas.

La alcalinidad al naranja de metilo hace referencia a la cantidad de ácido requerido para reducir el pH hasta 4.3, punto final del naranja de metilo. La alcalinidad al naranja de metilo del lodo y del filtrado del lodo es llamado  $M_m$  y  $M_f$  respectivamente. La prueba API incluye la determinación de  $P_m$ ,  $P_f$  y  $M_f$ . Todos estos valores son reportados en centímetro cúbico de ácido sulfúrico 0.02 N (normalidad=0.02) por centímetro cúbico de muestra.

*CONCENTRACION DE CLORUROS.* Las sales pueden ingresar al sistema de lodos y contaminarlo cuando formaciones salinas son perforadas y cuando el agua salada de la formación entra por la cara del pozo. La concentración de cloruros es determinada mediante titulación con una solución de nitrato de plata. El punto final de la titulación es detectado usando una solución de cromato de potasio indicador.

*DUREZA DEL AGUA.* El agua que contiene gran cantidad de iones  $Ca^{+2}$  y  $Mg^{+2}$  se conoce como agua dura. Estos contaminantes a menudo están presentes en el agua disponible para el uso en fluidos de perforación. Además, el  $Ca^{+2}$  puede entrar al lodo cuando formaciones de anhidrita o yeso son perforadas. (Ver manual interactivo)

### 2.1.3. TEMAS DE INVESTIGACIÓN

- Funciones de los lodos.
- Fases de los lodos.
- Tipos de lodos.

#### 2.1.4. IMPORTANCIA Y APLICACIÓN

La importancia de la química del agua radica en que generalmente esta se encuentra asociada a los lodos ya sea como componente principal, componente secundario o como consecuencia de la contaminación por el agua de las formaciones que se están perforando. Estas aguas contienen sales disueltas, carbonatos, bicarbonatos, calcio, silicatos y sulfuros; los cuales se deben identificar para conocer la calidad del agua y sus efectos sobre las propiedades de los lodos cuando se utilicen en su preparación.

#### 2.1.5. MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS

- Medidor de pH con electrodo (pH-metro).
- Termómetro
- Soluciones amortiguadoras de pH (pH 7 y pH 10)
- Agua destilada
- Paño que no contenga pelusa.
- Tasa de Titulación.
- Varilla de Agitación, Polietileno.
- Dos Pipetas.
- Agua Destilada.
- Probeta.
- Solución Indicadora de Fenolftaleína.
- Solución Acido Sulfúrico 0.02N (N/50).
- Solución Indicadora de Naranja de Metilo.
- Solución indicadora de cromato de potasio.
- Solución de nitrato de plata 0.0282N o Solución de Nitrato de Plata 0.282N.
- Solución tituladora de dureza total (THTS) en concentraciones de 2, 20, 200 epm.
- Solución versenato compensadora de dureza.
- Solución versenato indicadora de dureza.

### 2.1.6. PROCEDIMIENTO

Preparar las siguientes muestras:

1. Agua de tubo común.
2. 1 bbl eq de agua + 10 Lpb de sal.
3. 1 bbl eq de agua + 20 Lpb de sal.
4. 1bbl eq de agua + 3 Lpb de cal.
5. 1 bbl eq de agua + 1 Lpb de  $\text{CaCl}_2$ .
6. 1 bbl eq de agua + 5 Lpb de  $\text{CaCl}_2$ .
7. 1 bbl eq de agua + 0.5 Lpb de  $\text{NaOH}$ .
8. 1 bbl eq de agua + 0.8 Lpb de  $\text{NaOH}$ .

### 2.1.7. CALCULOS

Determinar a cada una de las muestras anteriores las siguientes propiedades: pH,  $P_f$ ,  $M_f$ , ppm  $\text{Cl}^-$ , ppm  $\text{NaCl}$ , ppm  $\text{Ca}^{++}$ , ppm  $\text{CaCO}_3$

### 2.1.8. PRESENTACION DE RESULTADOS

Tabla 3. Propiedades químicas del agua.

Muestra	pH	P <sub>f</sub>	M <sub>f</sub>	ppm Cl <sup>-</sup>	ppm NaCl	ppm Ca <sup>++</sup>	ppm CaCO <sub>3</sub>
1							
2							
3							

**Nota:** *El profesor determinará la cantidad de muestras que deberán ser analizadas por cada uno de los grupos.*

### 2.1.9. CUESTIONARIO

1. Hacer el análisis de los resultados obtenidos.
2. Para preparar en el laboratorio 2 bbl equivalentes de lodo agregando 5 Lpb de una sustancia. ¿Cuánta agua se requiere agregar y cuanta sustancia en peso?
3. ¿Que significado tiene para Ud un lodo cuyo P<sub>f</sub> = 1 y M<sub>f</sub> = 2.2?
4. Como clasificaría los siguientes tipos de lodos:
  - a. Con 30 ppm Ca<sup>++</sup>
  - b. Con 250 ppm Ca<sup>++</sup>.

## 2.2. PRACTICA No 2. CONOCIMIENTO DEL EQUIPO

### 2.2.1. OBJETIVOS

- Conocer el funcionamiento y el uso de los equipos utilizados para determinar las propiedades de los lodos.
- Adquirir los fundamentos de las propiedades físicas del lodo y como obtenerlas de manera práctica.

### 2.2.2. FUNDAMENTO TEORICO

*BALANZA DE LODO.* La balanza de lodo se compone principalmente de una base sobre la cual descansa un brazo graduado con un vaso, tapa, cuchillo, nivel de burbuja de aire, cursor y contrapeso. Se coloca el vaso de volumen constante en un extremo del brazo graduado, el cual tiene un contrapeso en el otro extremo. El vaso y el brazo oscilan perpendicularmente al cuchillo horizontal, el cual descansa sobre el soporte, y son equilibrados desplazando el (caballero) a lo largo del brazo.

*EL EMBUDO MARSH.* El viscosímetro de Marsh tiene un diámetro de 6 pulgadas en la parte superior y una longitud de 12 pulgadas. En la parte inferior, un tubo de orificio liso de 2 pulgadas de largo, con un diámetro interior de 3/16 pulgada, está acoplado de tal manera que no hay ninguna constricción en la unión. Una malla de tela metálica con orificios de 1/16 de pulgada, cubriendo la mitad del embudo, está fijada a 3/4 de pulgada debajo de la parte superior del embudo.

*VISCOSIMETRO ROTACIONAL.* El viscosímetro rotacional puede proveernos de una medida más exacta de las características reológicas de

los lodos que la que podemos obtener con el embudo marsh. El lodo es sometido a corte a una velocidad constante entre un flotante (bob) y una camisa externa que rota. A una velocidad constante de torsión, la el dial muestra una lectura de esfuerzo de corte ( $\tau$ ) en lb/100ft<sup>2</sup>. Este viscosímetro consta de 6 velocidades, estas 6 o 12 velocidades nos permiten tomar lecturas para el cálculo de las propiedades reológicas del fluido. Así por ejemplo a una velocidad de 300 rpm la lectura nos da el valor de la viscosidad aparente en cP. Otros datos obtenidos de las lecturas son:

$\mu_p = \theta_{600} - \theta_{300}$ ) Donde:  $\theta_{600}$  y  $\theta_{300}$  = Lectura del dial a 600 y 300 rpm.

$Y_p = \theta_{300} - \mu_p$   $\mu_p$  y  $Y_p$  = Viscosidad plástica y punto de cedencia

También se obtiene la resistencia de gel, al arrancar el viscosímetro a una velocidad de 3 rpm.

*FILTRO PRENSA.* Este instrumento consta de una celda de lodo, un regulador de presión y un medidor. La celda de lodo se arma colocando el papel de filtro u la malla en el fondo, luego es llenada de la muestra. Se somete la celda a una presión de 100psi y se coloca la probeta en la parte inferior para recibir el filtrado.

*KIT DE CONTENIDO DE ARENA.* El equipo de determinación del contenido de arena se compone de una malla de 2 ½ pulgadas de diámetro, de malla 200 (74 micrones), un embudo de tamaño que se ajusta a la malla y un tubo medidor de vidrio, marcado para señalar el volumen de lodo a ser añadido para leer el porcentaje de arena directamente en la parte inferior del tubo, el cual está graduado de 0 a 20%.

*KIT CONTENIDO DE SÓLIDOS Y LÍQUIDOS.* Se usa una retorta de lodo con capacidad de calefacción en el “horno” para determinar la cantidad de líquidos y sólidos contenidos en un fluido de perforación. Se coloca una muestra de lodo (retortas de 10, 20 ó 50 ml están disponibles) dentro del vaso y se añade la tapa para expulsar parte del líquido. Esto garantiza un volumen correcto. La muestra es calentada hasta que los componentes líquidos se vaporicen. Los vapores pasan a través de un condensador y se recogen en una probeta. El volumen de líquido, petróleo y agua se mide directamente y se determinan los porcentajes (ver manual interactivo).

### 2.2.3. TEMAS DE INVESTIGACION

- Densidad.
- Propiedades reológicas (viscosidad de embudo, viscosidad plástica y aparente, punto cedente y gel).
- Contenido de sólidos y arenas.
- Materiales usados para darle propiedades a los lodos.

### 2.2.4. IMPORTANCIA Y APLICACIÓN

El conocimiento de los equipos de laboratorio es indispensable para monitorear las propiedades de los fluidos de perforación durante las operaciones de campo. Estos nos permiten detectar los cambios del lodo y tomar correctivos en superficie.

### 2.2.5. MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS

- Jarro de lodos graduado  $\frac{1}{4}$  de galón (946 cm<sup>3</sup>)
- Balanza de lodos.
- Termómetro: 32 a 220 °F (0 a 104 °C).
- Embudo de Marsh

- Cronómetro
- Viscosímetro rotatorio de cilindro concéntrico FANN calibrado.
- Taza calentadora de viscosímetro termostáticamente controlada (para el uso de los viscosímetros que la tienen)
- Taza de viscosímetro normal.
- Filtro prensa.
- Papel de filtro.
- Cilindro graduado 25 o 50 ml.
- Tubo de contenido de arena
- Embudo correspondiente al tamiz.
- Tamiz de malla 200.
- Kit de retorta completo.
- Probeta de 10ml.
- Lana de acero fina.
- Lubricante de alta temperatura.
- Limpiatubos.
- Cuchillo para enmasillar o espátula con hoja.

#### 2.2.6. PROCEDIMIENTO

Preparar las siguientes muestras:

1. 1 bbl eq de lodo con 25 lpb de bentonita.
2. 1 bbl eq de lodo con 30 lpb de bentonita.
3. 1 bbl eq de lodo con 28 lpb de bentonita.

#### 2.2.7. CALCULOS

Determinar a cada una de las muestras anteriores las siguientes propiedades: Densidad, Viscosidad Marsh, Viscosidad plástica, Viscosidad aparente, Punto cedente (yield point), Esfuerzo de gel, Contenido de arena, Contenido de sólidos, Filtrado API, pH, Alcalinidad, Espesor y propiedades de la torta

## 2.2.8. PRESENTACION DE RESULTADOS.

Tabla 4. Propiedades del lodo y el filtrado.

Muestra	Densidad (lpg)	Viscosidad Marsh (seg)	% Arena	Filtrado API	% Sólidos
1					
2					

Muestra	Viscosidad Plástica (cP)	Yield Point Lb/100ft <sup>2</sup>	Viscosidad Aparente (cP)	pH	P <sub>f</sub>	M <sub>f</sub>	ppm Cl <sup>-</sup>	ppm Ca <sup>++</sup>
1								
2								

*Nota: El profesor determinará la preparación de las muestras a desarrollar en el laboratorio.*

## 2.2.9. CUESTIONARIO

Suponga que en campo el embudo Marsh sufre un daño. Como haría ud como ingeniero para realizar la prueba de viscosidad Marsh en caso de no poder reemplazarlo de manera rápida.

Demostrar que  $V_p = \Theta_{600} - \Theta_{300}$  en unidades de cP.

¿Como se puede considerar un lodo que tenga altas pérdidas de filtrado, torta de 4/32 in, quebradiza e inconsistente?

## **2.3. PRACTICA No 3. RENDIMIENTO DE VISCOSIFICANTES**

### **2.3.1. OBJETIVOS**

Estudio de las arcillas y de materiales viscosificantes.

Observar el comportamiento de viscosidad del lodo preparados con arcillas, polímeros y otros viscosificantes con agua dulce y agua salada para determinar su rendimiento.

### **2.3.2. FUNDAMENTO TEORICO**

El rendimiento de viscosificantes se define como el número de barriles de lodo de 15 cP (centipoise) que se puede obtener a partir de una tonelada de material seco. La parte crítica de la curva para todos los tipos de viscosificantes aparece a 15 cP. Grandes adiciones de arcilla hasta 15 cP aumentan muy poco la viscosidad, mientras que las pequeñas cantidades tienen un efecto marcado sobre la viscosidad de más de 15 cP. Esto es cierto no solamente para las arcillas comerciales, sino también para los sólidos de perforación hidratables y materiales viscosificantes. También resulta válido que una suspensión de arcilla de 15 cP soportará la barita en los sistemas de lodo densificado. (Ver manual interactivo)

### **2.3.3. TEMAS DE INVESTIGACION**

- Uso de las arcillas en lodos de perforación.
- Otros materiales viscosificantes.
- Materiales usados en pérdidas de circulación.

- Rendimiento de arcillas y viscosificantes.

#### 2.3.4. IMPORTANCIA Y APLICACIÓN

Las arcillas tienen muchas aplicaciones en los lodos de perforación. Uno de los más importantes usos es como viscosificante. El estudio del rendimiento de las arcillas y otros viscosificantes radica en que en el momento de la fabricación del lodo, esto nos proporciona una idea de la cantidad de producto necesario para obtener la viscosidad deseada y con ello podemos optimizar los costos.

#### 2.3.5. MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS

- |  |  |
|--|--|
| • Arcilla natural  | • Taza calentadora de viscosímetro termostáticamente controlada (para el uso de los viscosímetros que la tienen) |
| • Bentonita  | • Taza de viscosímetro normal.   |
| • Sal  | • Termómetro: 32 a 220 °F (0 a 104 °C).  |
| • XCD polímero   |  |
| • Viscosímetro rotatorio de cilindro concéntrico FANN calibrado. |  |

#### 2.3.6. PROCEDIMIENTO

Realizar los siguientes objetivos:

1. A un barril eq de agua dulce agregar 10 lb/bbl de arcilla natural en cada etapa y medir la viscosidad aparente, hasta lograr una mayor de 15 cP.

2. A un barril eq de agua dulce agregar 8 lb/bbl de bentonita en cada etapa y medir la viscosidad aparente, hasta lograr una mayor de 15 cP.
3. A un barril eq de agua con 30 lb/bbl de NaCl agregar 7 lb/bbl de bentonita en cada etapa y medir la viscosidad aparente, hasta lograr una mayor de 15 cP.
4. A un barril eq de agua agregar 3 lb/bbl de aquagel en cada etapa y medir la viscosidad aparente, hasta lograr una mayor de 15 cP.

### 2.3.7. CALCULOS

- Registrar los valores de viscosidad aparente y el porcentaje en peso (% p/p) de los viscosificantes para cada etapa.
- Hacer una gráfica de viscosidad aparente contra porcentaje en peso (% p/p) de los viscosificantes.
- Hallar el rendimiento de cada uno de los viscosificantes.

### 2.3.8. PRESENTACION DE RESULTADOS

Tabla 5. Datos para el cálculo del rendimiento de arcillas

<b>OBJETIVO No</b>			
<b>Masa viscosificante (lb)</b>	<b>% p/p Viscosificante</b>	<b><math>\Theta_{600}</math></b>	<b>Va</b>

**Nota:** *El profesor determinará la los objetivos a realizar por cada uno de los grupos.*

### 2.3.9. CUESTIONARIO

1. Determinar el rendimiento de la bentonita en agua salada y en agua dulce.
2. ¿Porque la montmorillonita sódica tiene mayor hinchamiento en agua dulce que en agua salada?
3. Haga un breve resumen sobre los tipos de arcillas y viscosificantes usadas en lodos de perforación.
4. Hacer un análisis de los resultados obtenidos en la práctica.
5. ¿Por qué la viscosidad es un factor tan importante en los lodos de perforación?

## 2.4. PRACTICA No 4 PROPIEDADES DE FLUJO Y DENSIDAD DE LOS LODOS

### 2.4.1. OBJETIVOS

- Analizar el comportamiento reológico de los lodos.
- Comparar los modelos reológicos.
- Observar la desviación del comportamiento newtoniano de los fluidos de perforación.

### 2.4.2. FUNDAMENTO TEORICO

Un modelo reológico es una descripción de la relación entre el esfuerzo de corte y la velocidad de corte. La ley de viscosidad de Newton es el modelo reológico que describe el comportamiento de flujo de los fluidos newtonianos. También se llama modelo newtoniano. Sin embargo los lodos de perforación no tienen un comportamiento newtoniano, por lo que se han estudiado otros modelos. El más antiguo de estos es el de modelo plástico de Bingham, sin embargo la mayoría de fluidos de perforación no son verdaderos fluidos plásticos de Bingham, por lo que se han desarrollado modelos tales como el modelo de potencia y el modelo de potencia modificado.

*MODELO DE LEY DE POTENCIA.* El modelo de Ley Exponencial procura superar las deficiencias del modelo de flujo plástico de Bingham a bajas velocidades de corte. El modelo de ley de potencia es más complicado que el modelo de flujo plástico de Bingham porque no supone que existe una relación lineal entre el esfuerzo de corte y la velocidad de corte. Sin embargo, como para los fluidos newtonianos, las curvas de esfuerzo de corte vs. velocidad de corte para los fluidos que obedecen a la ley exponencial pasan por el punto de origen.

Este modelo describe un fluido en el cual el esfuerzo de corte aumenta según la velocidad de corte elevada matemáticamente a una potencia determinada. Matemáticamente, el modelo de ley de potencia se expresa como:

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

Al ser trazada en un gráfico en escala log-log, la relación de esfuerzo de corte vs. velocidad de corte de un fluido que obedece a la ley de potencia forma una línea recta. La “pendiente” de esta línea es “n”. K’ es la intersección de esta línea.

Los valores de “K” y “n” pueden ser calculados a partir de los datos del viscosímetro. Las ecuaciones generales para los valores de “n” y “K” son las siguientes:

$$n = \frac{\log\left(\frac{\tau_2}{\tau_1}\right)}{\log\left(\frac{\theta_2}{\theta_1}\right)} \quad \text{y} \quad K = \frac{\theta_1}{\omega_1^n}$$

(Ver manual interactivo)

#### 2.4.3. TEMAS DE INVESTIGACION

- Variables del comportamiento reológico (esfuerzo de corte, velocidad de corte y viscosidad efectiva).
- Modelos reológicos (Bingham, ley de potencia y ley de potencia modificada).
- Densidad de los lodos y balance de masa para variar la densidad del lodo.

- Sólidos presentes en el lodo y su control.

#### 2.4.4. IMPORTANCIA Y APLICACIÓN

Las propiedades físicas de un fluido de perforación, la densidad y las propiedades reológicas se monitorean para facilitar la optimización del proceso de perforación. Al tomar ciertas medidas en un fluido, es posible determinar la manera en que dicho fluido fluirá bajo diferentes condiciones, incluyendo la presión, la temperatura y la velocidad de corte.

El analizar el fluido y determinar cual es el modelo al que pertenece, nos permite predecir el comportamiento del flujo. Esto es muy importante porque de este comportamiento del flujo dependen los cálculos de hidráulica realizados para determinar el efecto que este fluido en particular tendrá sobre las presiones del sistema

#### 2.4.5. MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS

- |   |                                      |
|---|--------------------------------------|
| • Balanza de lodos.   | controlada (para el uso de los       |
| • Jarro de lodos graduado $\frac{1}{4}$ de galón (946 cm <sup>3</sup> ) | viscosímetros que la tienen)         |
| • Termómetro: 32 a 220 °F (0 a 104 °C).                                 | • Taza de viscosímetro normal.       |
| • Viscosímetro rotatorio de cilindro concéntrico FANN calibrado.        | • Arcilla natural                    |
| • Taza calentadora de viscosímetro termostáticamente                    | • Bentonita                          |
|   | • Cal, Pac-L, Sal común (NaCl) y Cal |

#### 2.4.6. PROCEDIMIENTO

Preparar las siguientes muestras:

1. Un barril equivalente de lodo con 30 lb/bbl de bentonita y 1 lb/bbl de Pac-L.
2. Un barril equivalente de lodo con 30 lb/bbl de bentonita, lb/bbl de Pac-L y 20 lb/bbl de sal común (NaCl).
3. Un barril equivalente de lodo con 25 lb/bbl de bentonita y 5 lb/bbl de arcilla natural.
4. Un barril equivalente de lodo con 25 lb/bbl de bentonita, 5 lb/bbl de arcilla natural y 30 lb/bbl de sal común (NaCl).
5. Un barril equivalente de lodo con 28 lb/bbl de bentonita , 4 lb/bbl de arcilla natural y 1 lb/bbl de Pac-L.
6. Un barril equivalente de lodo con 28 lb/bbl de bentonita , 4 lb/bbl de arcilla natural, 1 lb/bbl de Pac-L y 1.5 lb/bbl de yeso.

#### 2.4.7. CALCULOS

- Para cada una de las muestras preparadas tomas la lectura del viscosímetro a 3rpm, 6rpm, 100rpm, 200rpm, 300rpm y 600rpm.
- Hacer una gráfica de esfuerzo de corte vs. Velocidad de corte en papel log-log y determinar para cada una de las muestras preparadas la viscosidad efectiva ( $V_{ef}$ ) en función de la velocidad de corte.
- Hallar para cada una de las muestras  $K_b$ ,  $K_m$ ,  $n_b$  y  $n_m$  de manera gráfica y de manera analítica. Comparar los resultados.
- Hacer una gráfica de  $V_{ef}$  vs. Velocidad de corte.

## 2.4.8. PRESENTACION DE RESULTADOS

Tabla 6. Propiedades de flujo

OBJETIVO No			
rpm	$\tau_{rpm}$ (lb/100ft <sup>2</sup> )	Velocidad de corte (S <sup>-1</sup> )	Viscosidad efectiva (cP)
3			
6			
100			
200			
300			
600			
<b>K<sub>b</sub> :</b>	<b>K<sub>m</sub> :</b>	<b>n<sub>b</sub> :</b>	<b>n<sub>m</sub> :</b>

*Nota: El profesor determinará la cantidad de muestras que deberán ser analizadas por cada uno de los grupos.*

- Gráficas de cada una de las muestras.

## 2.4.9. CUESTIONARIO

1. ¿Cómo se considera un lodo ideal desde el punto de vista reológico?
2. ¿Cuál es el modelo reológico que más se ajusta al comportamiento de un lodo de perforación?
3. Explique de manera breve el modelo de ley de potencia modificado.
4. Hacer un análisis de los resultados obtenidos en la práctica.

## **2.5. PRACTICA No 5. ESTUDIO Y CONTROL DE LA FILTRACION**

### 2.5.1. OBJETIVO

- Estudiar las propiedades de filtración de los lodos de perforación.

### 2.5.2. FUNDAMENTO TEORICO

La filtración se refiere a la acción mediante la cual la presión diferencial hace entrar a la fase líquida del lodo de perforación dentro de una formación permeable. Durante este proceso, las partículas sólidas son filtradas, formando un revoque (cake o torta) que ayuda a controlar las pérdidas de líquidos por su permeabilidad.

Los sistemas de lodo deberían estar diseñados para sellar las zonas permeables lo más rápido posible con revoques lisos y delgados. En las formaciones muy permeables con grandes gargantas de poros, el lodo entero puede invadir la formación (según el tamaño de los sólidos del lodo). Para estas situaciones, será necesario usar agentes puenteantes para bloquear las aberturas, de manera que los sólidos del lodo puedan formar un sello.

Para que la filtración pueda ocurrir, tres condiciones son necesarias:

- Debe haber un líquido o un fluido líquido/lechada de sólidos.
- Debe haber un medio permeable.
- La presión del fluido debe ser más alta que la presión del medio permeable.

Las mediciones de filtración y revoque de baja presión, baja temperatura y alta temperatura, alta presión (ATAP) del Instituto Americano del Petróleo (API) realizadas por el ingeniero del lodo son pruebas muy eficaces para evaluar las tendencias globales de filtración del lodo, y en cierto modo proporcionan una indicación de las características de la filtración dinámica de flujo laminar. (Ver manual interactivo)

### 2.5.3. TEMAS DE INVESTIGACION

- Filtración estática.
- Filtración dinámica.
- Variables que afectan la filtración.
- Efectos de la filtración.
- Correctivos para la pérdida de filtrado.
- Filtración HPHT.

### 2.5.4. IMPORTANCIA Y APLICACIÓN

Durante el proceso de perforación el lodo nos ayuda a controlar las presiones en la formación, por esto normalmente la presión de la columna de lodo se mantiene por encima de la presión de poro. Esta diferencia de presión ocasiona que la fase líquida del lodo invada la formación creando un daño que depende de la cantidad de líquido que invada y de las propiedades de las arcillas de la formación.

Las pruebas de filtración me permiten detectar estas cantidades de líquido que invaden la formación y hacer los correctivos necesarios en el lodo. (Ver manual interactivo)

### 2.5.5. MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS

- Filtro prensa.
- Papel de filtro.
- Cronómetro.
- Cilindro graduado 25 o 50 ml.
- Drispac (u otro controlador de filtrado).
- Pac-L.
- Bentonita.
- Arcilla natural.
- Soda cáustica (NaOH).
- Sal común (NaCl).
- Termathin.

### 2.5.6. PROCEDIMIENTO

Preparar las siguientes muestras:

1. Lodo base 1: un barril equivalente de lodo con 24 lb/bbl de bentonita, 5lb/bbl de arcilla natural, 0,5 lb/bbl de NaOH y 0,5 lb/bbl de Drispac.
2. Lodo base mas 1,3 lb/bbl de cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ).
3. Lodo base mas 1,3 lb/bbl de cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ), adicionar 5% en volumen de agua, luego agregar 0,5 lb/bbl de termathin y 0,5 lb/bbl de drispac.
4. Lodo base 2: un barril equivalente de lodo con 25 lb/bbl de bentonita y 5 lb/bbl de arcilla natural.
5. Lodo base 2 más 30 lb/bbl de sal (NaCl).
6. Lodo base 2 mas 30 lb/bbl de sal (NaCl), adicionar 10% en volumen de agua y 1,2 lb/bbl de Pac-L.
7. Lodo base 3: un barril equivalente de lodo con 20 lb/bbl de bentonita y 10 lb/bbl de arcilla natural.
8. Lodo base 3 más 25 lb/bbl de sal.
9. Lodo base 3 más 25 lb/bbl de sal y 1 lb/bbl de Pac-L.

### 2.5.7. CALCULOS

- Al lodo base hacer filtrado a 5, 8, 10, 12, 17, 20, 23, 26 y 30 minutos.
- Hacer una grafica de tiempo (t) vs. filtrado (Q) y de la raíz del tiempo ( $t^{1/2}$ ) vs. filtrado (Q).
- Realizar para los otros lodos el filtrado a 7,5 minutos y reportarlo como filtrado API.
- Hacer el análisis de la torta (cake) para cada uno de los lodos.

### 2.5.8. PRESENTACION DE RESULTADOS

Tabla 7. Resultados, filtrado vs. tiempo

<b>Lodo Base No.</b>		
<b>t (seg)</b>	<b>Q (ml)</b>	<b><math>t^{1/2}</math></b>

Tabla 8. Resultados filtrado API.

<b>Muestra No.</b>	
<b>Q a 7,5 min.</b>	<b>Q API</b>

*Nota: El profesor determinará las muestras y aditivos a emplear por cada uno de los grupos, así como los tiempos a evaluar.*

- Gráficas de  $t$  vs.  $Q$  y  $t^{1/2}$  vs.  $Q$ .

#### 2.5.9. CUESTIONARIO

1. Mencione la diferencia que hay entre filtración dinámica y filtración estática.
2. Enumere las causas potenciales de los problemas de filtración.
3. Enumere y explique los factores que afectan la filtración.
4. ¿Cuales son las principales sustancias usadas como controladores de filtrado?.
5. ¿De que depende el espesor de la torta en la prueba de filtrado?
6. Hacer un análisis de los resultados obtenidos en la práctica.

## **2.6. PRACTICA No 6. CONTAMINACION Y TRATAMIENTO**

### **2.6.1. OBJETIVOS**

- Estudiar el efecto de los contaminantes sobre las propiedades del lodo.
- Analizar el comportamiento del lodo en presencia de los diferentes contaminantes.
- Evaluar los efectos de los contaminantes y estudiar la forma de contrarrestarlos.

### **2.6.2. FUNDAMENTO TEORICO**

Un contaminante es cualquier tipo de material externo (sólido, líquido o gas) que tiene un efecto perjudicial sobre las características físicas o químicas de un fluido de perforación. Lo que en un tipo de fluido de perforación constituye un contaminante, en otro no lo será. (Ver manual interactivo)

Las principales fuentes contaminantes de los fluidos de perforación son los sólidos y los fluidos de las formaciones; y en menor escala materiales y fluidos colocados intencionalmente en el pozo (cemento, espaciadores), y contaminantes que pueden entrar al lodo en la superficie.

En esta práctica evaluaremos los contaminantes más comunes, su fuente, la forma de detectarlos en el sistema de lodos mediante las diferentes pruebas y los aditivos usados para remediar los daños ocasionados.

Se utiliza la tabla de contaminación (tabla 9) para analizar de acuerdo al comportamiento de las propiedades del lodo, la fuente de contaminación.

Tabla 9. Efecto de los contaminantes en las propiedades del lodo.

CAMBIOS	CONTAMINANTE							
	Anhidrita o yeso	Ca(OH) <sub>2</sub>	NaCl	CaCl <sub>2</sub>	Carbonatos y bicarbonatos	H <sub>2</sub> S	Cuttings	Aceite
Vp	-	-	-	-	-	-	↑	↑
Yp	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	
Gel	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	
Ph	↓	↑	↓	↓	↓	↓	↓	
Filtrado API	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓
Ca ++	↑	↑	-	↑	↓	-	-	
Cl <sup>-</sup>	-		↑	↑	-	-	-	
Pm	↓	↑	↓	↓	↓	↓	↓	
Pf	↓	↑	↓	↓	↔	↓	↓	
Mf	↓	↑	↓	↓	↑	↓	↓	
Peso	-	-	-	-	-	-	↑	↓
Sólidos	-	-	-	-	-	-	↑	↓
% aceite								↑
%agua							↓	

Fuente. Corrección a tabla de manual de lodos de MI.

### 2.6.3. TEMAS DE INVESTIGACION

- Contaminación por sólidos: fuentes, efectos, detección y tratamiento.
- Contaminación por anhidrita o yeso: fuentes, efectos, detección y tratamiento.
- Contaminación por cemento: fuentes, efectos, detección y tratamiento.
- Contaminación por sal: fuentes, efectos, detección y tratamiento.
- Contaminación por cal: fuentes, efectos, detección y tratamiento.

### 2.6.4. IMPORTANCIA Y APLICACIÓN

Mientras se perfora el lodo tiene contacto con diferentes fuentes potenciales de contaminantes, además de que algunos productos que se le adicionan causan cambios en las propiedades.

Es muy importante conocer los efectos que causan sobre el lodo los diferentes contaminantes porque esto permite al ingeniero detectarlos y corregir en caso de requerirse o convertir el lodo en uno que se ajuste más a las necesidades de las formaciones que se requieren perforar.

### 2.6.5. MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS

- Equipo para prueba de filtrado API.
- Equipo de retorta completo.
- pH-metro.
- Equipo y reactivos para pruebas de química de aguas.
- Embudo Marsh.
- Equipo completo para medir viscosidades.
- Drispac.
- Pac-R y Pac-L.
- Bentonita.
- Arcilla natural.
- Soda cáustica (NaOH).

- Sal común (NaCl).
- Termathin.

#### 2.6.6. PROCEDIMIENTO

Preparar las siguientes muestras:

Lodo base: cinco barriles equivalentes con 25 lb/bbl de bentonita, 5 lb/bbl de arcilla natural, 0,8 lb/bbl de NaOH y 0,5 lb/bbl de Pac-R.

1. Un barril equivalente de lodo base mas 30 lb/bbl de sal (NaCl). Luego tratar con 10 % en volumen de agua, 1lb/bbl de termathin y 0,8 lb/bbl de drispac.
2. Un barril equivalente de lodo base mas 1,5 lb/bbl de cal. Luego tratar con 1,2 lb/bbl de bicarbonato de sodio, 1 lb/bbl de termathin y 0,5 lb/bbl de Pac-R.
3. Un barril equivalente de lodo base mas 8 lb/bbl de arcilla natural. Luego tratar con 15% en volumen de agua y 0,5 lb/bbl de termathin.
4. Un barril equivalente de lodo base mas 2 lb/bbl de yeso. Luego tratar con 10% en volumen de agua, 1lb/bbl de carbonato de sodio y 1 lb/bbl de termathin.
5. Un barril equivalente de lodo base mas 1,5 lb/bbl de cloruro de calcio. Luego tratar con 10% en volumen de agua, 1 lb/bbl de termathin, 0,5 lb/bbl de NaOH y 0,5 lb/bbl de drispac.

#### 2.6.7. CALCULOS

- Determinar las propiedades (pH, P<sub>f</sub>, M<sub>f</sub>, Cl<sup>-</sup>, Ca<sup>+</sup>, Va, Vp, Yp, Gel, filtrado API, % sólidos, % arena) del lodo base.
- Determinar las propiedades para cada uno de los lodos contaminados.

- Determinar las propiedades para cada uno de los lodos después de ser tratados.
- Hacer el análisis de la torta (cake) para cada uno de los lodos.

#### 2.6.8. PRESENTACION DE RESULTADOS

Tabla 10. Propiedades de los lodos contaminados y tratados.

Muestra	Densidad (lpg)	Viscosidad Marsh	% Arena	Filtrado API	% Sólidos
Base					
Muestra No.					
Muestra No. Tratada					

Muestra	Vp	Yp	Va	pH	P <sub>f</sub>	M <sub>f</sub>	Cl <sup>-</sup>	Ca <sup>++</sup>	Torta (cake)
Base									
Muestra No.									
Muestra No. Tratada									

**Nota:** El profesor determinará las muestras que deberán ser analizadas por cada uno de los grupos. También las cantidades de contaminantes y aditivos para el tratamiento.

#### 2.6.9. CUESTIONARIO

1. Enumere los problemas que pueden existir en el lodo cuando existe contaminación por sólidos, cal, yeso, sal y aceite; y su tratamiento.
2. Como varían las propiedades del lodo cuando se perforan domos salinos y formaciones de yeso o anhidrita.

## **2.7. PRACTICA No 7. LODOS SALADOS**

### **2.7.1. OBJETIVOS**

- Preparar lodos salados y observar sus propiedades y características.
- Diferenciar los tipos de lodos de acuerdo a su salinidad.

### **2.7.2. FUNDAMENTO TEORICO**

Se conocen como lodos de agua salada a los que contienen más de 10.000 ppm de NaCl y no ha sido convertido a otro tipo de lodo. Estos lodos se clasifican en lodos salados hasta 315.000 ppm de NaCl y en lodos salados saturados mayores de 315.000 ppm de NaCl.

Este tipo de lodos pueden ser preparados a propósito, o pueden derivar del uso de un agua de preparación que contiene sal, de la perforación de vetas de sal o acuíferos.

Cuando un lodo se contamina con sal sus propiedades cambian, por lo que hay que controlarlas hasta donde sea económicamente viable, luego se determina si este se convierte a un lodo salado. Generalmente se toma como punto de conversión 10.000 ppm de NaCl. (Ver manual interactivo)

### **2.7.3. TEMAS DE INVESTIGACION**

- Generalidades de lodos salados.
- Tipos de lodos salados y sus propiedades.
- Preparación y conversión de lodos salados.
- Uso de los lodos salados.

#### 2.7.4. IMPORTANCIA Y APLICACIÓN

En las operaciones de perforación se pueden encontrar formaciones como domos salinos los cuales pueden ser afectados al perforar con lodos de agua dulce, arcillas con tendencia a hidratarse y también acuíferos que contaminen el lodo con sal.

Los lodos salados se usan para perforar este tipo de formaciones evitando que en el caso del domo salino el hueco se ensanche mucho, también la sal evita la hidratación de las arcillas evitando los problemas que pueden causar. En el caso en el cual el lodo se contamina con sal, se debe evaluar si es económicamente viable tratarlo o es mejor convertirlo en uno salado. Estas pruebas nos ayudan a tomar este tipo de decisiones.

#### 2.7.5. MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS

- Equipo para prueba de filtrado API.
- Equipo de retorta completo.
- pH-metro.
- Equipo y reactivos para pruebas de química de aguas.
- Embudo Marsh.
- Equipo completo para medir viscosidades.
- Drispac.
- Pac-R y Pac-L.
- Bentonita.
- Arcilla natural.
- Soda cáustica (NaOH).
- Sal común (NaCl).
- Termathin.

### 2.7.6. PROCEDIMIENTO

Preparar las siguientes muestras:

Lodo base 1: 3 bbl equivalente de lodo con 20 lpb de bentonita, 5 lpb de arcilla natural, 1 lpb de termathin, 1 lpb de drispac y 0.5 lpb de NaOH.

Lodo base 2: 3 bbl equivalentes de lodo con 25 lpb de bentonita, 5 lpb de arcilla natural, 1 lpb de termathin, 0.3 lpb de Ppac-L y 0.05 lpb de NaOH.

1 bbl equivalente de lodo base 1 + 5% en volumen de agua + 0.5 lpb de drispac + 40 lpb de sal.

1 bbl equivalente de lodo base 1 + 10% en volumen de agua + 1 lpb de termathin + 125 lpb de sal.

1 bbl equivalente de lodo base 2 + 5% en volumen de agua + 0.05 lpb de termathin + 30 lpb de sal.

1 bbl equivalente de lodo base 2 + 10% en volumen de agua + 1 lpb de termathin + 0.05 lpb de Pac-L + 120 lpb de sal.

### 2.7.7. CALCULOS

Determinar a cada una de las muestras anteriores las siguientes propiedades:  $V_a$ ,  $V_p$ ,  $Y_p$ , pH,  $P_f$ ,  $M_f$ , ppm  $Cl^-$ , ppm  $Ca^{++}$ , % sólidos, % arena, pérdidas de filtrado. Hacer la corrección de % de sólidos por la presencia de sal en el lodo.

Hacer el análisis de la torta (cake o revoque) para cada una de las muestras anteriores.

### 2.7.8. PRESENTACION DE RESULTADOS

Tabla 11. Propiedades de los lodos salados.

Muestra	Vp	Yp	Va	pH	P <sub>f</sub>	M <sub>f</sub>	ppm Cl <sup>-</sup>	ppm Ca <sup>++</sup>
1								
2								
3								

Muestra	% Arena	Filtrado API	% Sólidos	Análisis de la torta
1				
2				
3				

**Nota:** El profesor determinará la cantidad de muestras y reactivos que deberán ser analizadas por cada uno de los grupos.

### 2.7.9. CUESTIONARIO

1. Haga un análisis de los resultados obtenidos en la práctica.
2. ¿Cómo varía el contenido de sólidos y como se debe corregir en este tipo de lodos?
3. Describa los tipos de lodos salados y en que operaciones se deben utilizar.
4. ¿Que otros tipos de sal pueden contaminar al lodo?

## 2.8. PRACTICA No 8. LODOS DISPERSOS Y NO DISPERSOS

### 2.8.1. OBJETIVOS

- Analizar la importancia y las aplicaciones de los lodos dispersos y no dispersos.
- Preparar lodos dispersos y no dispersos. Comparar y analizar sus diferencias.

### 2.8.2. FUNDAMENTO TEORICO

*LODOS NO DISPERSOS.* Utilizados para perforar pozos poco profundos o los primeros metros de pozos profundos (lodos primarios), en la mayoría de casos compuesto de agua dulce, bentonita y cal apagada (hidróxido de calcio), donde primero se hidrata la bentonita y luego se agrega cal para aumentar el valor real de punto de cedencia, que le da la capacidad de transportar recortes, a bajas ratas de corte (shear rate). También se utilizan polímeros. El objetivo de este sistema es reducir la cantidad total de sólidos arcillosos, resultando en una rata de penetración alta. No son muy estables a altas temperaturas, aproximadamente 400°F. Se caracterizan por que el  $Y_p \geq V_p$  (reología invertida) con gran capacidad de adelgazamiento y valores de “n” bajos.

*LODOS DISPERSOS.* Muy útiles cuando se perfora a grandes profundidades o en formaciones altamente problemáticas, pues presentan como característica principal la dispersión de arcillas constitutivas, adelgazando el lodo. Compuestos por bentonita, sólidos perforados y bajas concentraciones de agentes dispersantes, tales como los lignosulfonatos y lignitos.

Estos lodos pueden ser similares en aplicabilidad a los lodos con fosfato, pero pueden ser usados a mayores profundidades gracias a la estabilidad del agente dispersante, los lignitos son más estables que los lignosulfonatos a temperaturas elevadas y son más efectivos como agente de control de pérdida de circulación, aunque los lignosulfonatos son mejores agentes dispersantes, el carácter reductor de filtrado para el lignosulfonato se degrada a 350°F. (Ver manual interactivo)

### 2.8.3. TEMAS DE INVESTIGACION

- Lodos dispersos y no dispersos.
- Usos de los lodos dispersos y no dispersos.
- Teoría sobre lignosulfonatos y fosfatos.
- Lodos de inicio.

### 2.8.4. IMPORTANCIA Y APLICACIÓN

En las operaciones de perforación como en toda la industria del petróleo los costos son de gran importancia, los lodos no dispersos son utilizados como lodos de inicio o en pozos de poca profundidad puesto que no son usados tratamientos y esto los hace menos costosos. Cuando aumenta la profundidad de los pozos y los sólidos afectan al lodo aumentando su viscosidad, este lodo debe ser tratado con agentes dispersantes para controlar esta y otras propiedades.

### 2.8.5. MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS

- Equipo para prueba de filtrado API.
- Equipo de retorta completo.
- pH-metro.
- Equipo y reactivos para pruebas de química de aguas.

- Embudo Marsh.
- Equipo completo para medir viscosidades.
- X-C polimer.
- XCD-polimer .
- Bentonita.
- Arcilla natural.
- Soda cáustica (NaOH).
- Lignito.
- Termathin.

#### 2.8.6. PROCEDIMIENTO

Preparar las siguientes muestras:

1. Lodo base 1: 3 bbl eq de lodo con 22 lpb de bentonita + 15 lpb de arcilla natural + 0.5 lpb de NaOH.
2. Lodo base 2: 2 bbl eq de lodo con 25 lpb de bentonita + 10 lpb de arcilla natural + 0.05 lpb de NaOH.
3. 1 bbl eq de lodo base 1 + 1.2 lpb de termathin.
4. 1 bbl eq de lodo base 1 + 2 lpb de X-C polimer + 5 lpb de bentonita.
5. 1 bbl eq de lodo base 2 + 3 lpb de máximo lignito + 0.5 lpb de NaOH.
6. 1 bbl eq de lodo con 5 lpb de bentonita + 1.5 lpb de XCD-polimer + 0.5 lpb de NaOH.

#### 2.8.7. CALCULOS

Determinar a cada una de las muestras anteriores las siguientes propiedades:  $V_a$ ,  $V_p$ ,  $Y_p$ , pH,  $P_f$ ,  $M_f$ , ppm  $Cl^-$ , ppm  $Ca^{++}$ , % sólidos, % arena, pérdidas de filtrado.

Hacer el análisis de la torta (cake o revoque) para cada una de las muestras anteriores.

### 2.8.8. PRESENTACION DE RESULTADOS

Tabla 12. Propiedades de lodos dispersos y no dispersos.

Muestra	Vp	Yp	Va	pH	P <sub>f</sub>	M <sub>f</sub>	ppm Cl <sup>-</sup>	ppm Ca <sup>++</sup>
1								
2								
3								

Muestra	% Arena	Filtrado API	% Sólidos	Análisis de la torta
1				
2				
3				

**Nota:** *El profesor determinará la cantidad de muestras y aditivos que deberán ser analizadas por cada uno de los grupos.*

### 2.8.9. CUESTIONARIO

1. ¿Como son las pérdidas de filtrado y el espesor de la torta del lodo disperso de bajo contenido de sólidos comparado con el lodo disperso?
2. ¿Que diferencias hay entre un lodo disperso de lignosulfonato y uno de fosfato?
3. Enumere las diferencias más importantes entre lodos dispersos y no dispersos respecto a las propiedades medidas en el laboratorio.

## **2.9. PRACTICA No 9 LODOS BASE CALCIO**

### **2.9.1. OBJETIVOS**

- Analizar la importancia y las aplicaciones de los lodos base calcio; y el procedimiento para la conversión.
- Preparar lodos calados, lodos de yeso y lodos de cloruro de calcio; hallar sus propiedades y analizarlas.

### **2.9.2. FUNDAMENTO TEORICO**

Calcio, catión divalente que inhibe el hinchamiento de las arcillas de las formaciones perforadas, muy utilizados para controlar shales fácilmente desmoronables. Los lodos base calcio son aplicados en la perforación de secciones de anhidrita, yeso y cal de considerable espesor y también en estratos con flujos de agua salada. Estos lodos difieren de los otros base agua, en que las arcillas base sodio de cualquier bentonita comercial o la bentonita que aporta la formación es convertida a arcillas base calcio mediante la adición de cal o yeso, tolerando altas concentraciones de sólidos arcillosos con bajas viscosidades. Estos sistemas son referidos como lodos base cal, base yeso o cloruro de calcio dependiendo cual de estos compuestos es usado para convertir el sistema a base calcio. (Ver manual interactivo)

### **2.9.3. TEMAS DE INVESTIGACION**

- Lodos calados, lodos de yeso y lodos de cloruro de calcio.
- Aplicaciones de los lodos base calcio.
- Pico de conversión.

#### 2.9.4. IMPORTANCIA Y APLICACIÓN

La bentonita comercial y las arcillas encontradas durante la perforación tienden a hidratarse en presencia de agua. Los lodos con calcio retardan y en determinados casos inhiben la hidratación de las arcillas evitando los problemas que se pueden presentar en el yacimiento y en el desempeño del fluido de perforación.

Por otro lado la contaminación con calcio proveniente de los cementos, de secciones de yeso o anhidrita; pueden causar problemas los cuales se pueden tratar químicamente cuando estas concentraciones son bajas. Cuando estas concentraciones aumentan y su tratamiento no es económico, es mejor convertir el lodo, a un sistema de lodo con calcio. Esto se determina analizando el pico de conversión.

#### 2.9.5. MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS

- Equipo para prueba de filtrado API.
- Equipo de retorta completo.
- pH-metro.
- Equipo y reactivos para pruebas de química de aguas.
- Equipo completo para medir viscosidades.
- Drispac.
- Pac-R.
- Pac-L
- Bentonita.
- Arcilla natural.
- Soda cáustica (NaOH).
- Cal.
- Termathin.
- Lignito
- Barita.
- Yeso.
- Cloruro de calcio.

## 2.9.6. PROCEDIMIENTO

Preparar las siguientes muestras:

1. Lodo base 1: 4 bbl equivalentes de lodo con 20 lpb de bentonita, 10 lpb de arcilla natural y 1 lpb de lignito.
2. Lodo base 2: 4 bbl equivalentes de lodo con 24 lpb de bentonita, 6 lpb de arcilla natural y 1 lpb de termathin.
3. 1 bbl equivalente de lodo base 1 + 10% en volumen de agua + 3 lpb de NaOH + 4 lpb de cal + 1 lpb de Pac-L + barita necesaria para alcanzar una densidad de 11 lpg.
4. 1 bbl equivalente de lodo base 1 + 10% en volumen de agua + 1.5 lpb de NaOH + 3 lpb de lignito + 4 lpb de yeso + 2lpb de Pac-L + barita necesaria para alcanzar una densidad de 11 lpg.
5. 1 bbl equivalente de lodo base 1 + 10% en volumen de agua + 3lpb de NaOH + 1.5 lpb de termathin + 4 lpb de cloruro de calcio + 4 lpb de Pac-L + barita necesaria para alcanzar una densidad de 11 lpg.
6. 1 bbl equivalente de lodo base 2 + 10% en volumen de agua + 0.5 lpb de NaOH + 1.5 lpb de termathin + 4 lpb de cal + 1 lpb de Pac-L + barita necesaria para alcanzar una densidad de 10.2 lpg.
7. 1 bbl equivalente de lodo base 2 + 10% en volumen de agua + 0.5 lpb de NaOH + 1.5 lpb de termathin + 5 lpb de yeso + 1 lpb de Pac-L + barita necesaria para alcanzar una densidad de 10.2 lpg.

8. 1 bbl equivalente de lodo base 2 + 10% en volumen de agua + 0.5 lpb de NaOH + 1.5 lpb de termathin + 5 lpb de cloruro de calcio + 1 lpb de Pac-L + barita necesaria para alcanzar una densidad de 10.2 lpg.

Nota: Para comparar las características entre los lodos base calcio, se recomienda a partir del lodo base preparar los lodos con los mismos aditivos y solamente cambiar la fuente de calcio. (Ver tabla 13)

Tabla 13. Comparación de las propiedades de los lodos base calcio

PROPIEDADES	LODOS CALADOS	LODOS DE CLORURO DE CALCIO	LODOS DE YESO
Calcio disuelto (ppm)	80-200	400-800	500-1200
pH	11.5-13.0	11.8-12.5	9.5-10.5
$P_f$	4-8	1-4	<1
T (°F)	<275	<300	<350
Gel inicial	0	5-10	0-5
Filtrado API	$Q_3$	$Q_1$	$Q_2$
$V_p$	$V_{p1}$	$V_{p3}$	$V_{p2}$
$Y_p$	$Y_{p3}$	$Y_{p1}$	$Y_{p2}$
$V_a$	$V_{a1}$	$V_{a1}$	$V_{a1}$
Vis Marsh	$\mu_{m1}$	$\mu_{m1}$	$M_{m1}$
Densidad	$\rho_{L1}$	$\rho_{L1}$	$\rho_{L1}$

Fuente. Actualización manual de fluidos de baroid.

### 2.9.7. CALCULOS

Determinar a cada una de las muestras anteriores las siguientes propiedades:  $V_a$ ,  $V_p$ ,  $Y_p$ , pH,  $P_f$ ,  $M_f$ , ppm  $Cl^-$ , ppm  $Ca^{++}$ , % sólidos, % arena, pérdidas de filtrado.

Hacer el análisis de la torta (cake o revoque) para cada una de las muestras anteriores.

## 2.9.8. PRESENTACION DE RESULTADOS

Tabla 14. Propiedades de los lodos base calcio

Muestra	Vp	Yp	Va	pH	P <sub>f</sub>	M <sub>f</sub>	ppm Cl <sup>-</sup>	ppm Ca <sup>++</sup>
1								
2								
3								

Muestra	% Arena	Filtrado API	% Sólidos	Análisis de la torta
1				
2				
3				

**Nota:** El profesor determinará la cantidad de muestras y reactivos.

## 2.9.9. CUESTIONARIO

1. ¿Qué es el pico de conversión para un lodo base calcio?
2. De los tres lodos base calcio, cual es el que representa mejor las características de un lodo inhibido.
3. Describir las características de la barita.
4. ¿Que otros materiales pesantes se utilizan y cual es su composición?
5. Hacer un análisis de los resultados obtenidos.
6. ¿Cuál es la importancia de este tipo de lodos?

## **2.10. PRACTICA No 10. LODOS EMULSIONADOS**

### 2.10.1. OBJETIVOS

- Estudiar la teoría de las emulsiones inversas.
- Preparar lodos base aceite, estudiar su comportamiento y sus propiedades.
- Prepara sistemas de lodos base aceite 100%, de filtrado relajado, con alto contenido de agua y de emulsión firme, y analizar sus características.

### 2.10.2. FUNDAMENTO TEORICO

Los lodos base aceite son una mezcla de sustancias con determinadas propiedades que se agregan a una emulsión en donde la fase dispersa corresponde al agua y la fase continua al aceite (diesel o petróleo crudo). Dentro de las teorías de las emulsiones, estas son denominadas emulsiones inversas.

Otro tipo de lodos emulsionados son los que utilizan el petróleo crudo o el aceite diesel para formar una base acuosa y con ayuda de un emulsificante, una emulsión suficiente mente fuerte que le permita permanecer estable y con apariencia homogénea. A este tipo de lodos se les denomina como lodos de emulsión de aceite en agua. Actualmente para disminuir la contaminación ambiental se utilizan aceites minerales o componentes de aceites vegetales.

Existen varias clasificaciones de lodos base aceite dependiendo de las compañías. Sin embargo en el presente trabajo consideramos que actualmente la mejor estructuración es la de Baroid. (Ver manual interactivo)

### 2.10.3. TEMAS DE INVESTIGACION

- Teoría de las emulsiones inversas.
- Aplicación de los lodos base aceite.
- Tipos de lodos base aceite.
- Reactivos utilizados (invermul, az-mul, geltone, duratone).

### 2.10.4. IMPORTANCIA Y APLICACIÓN

Los lodos base aceite o de emulsión inversas son utilizados para sortear condiciones de altas presiones y temperaturas, para estabilizar lutitas problemáticas o para perforar las zonas de arenas productoras que pueden ser dañadas al perforar con un lodo base agua.

Los lodos de emulsión petróleo en agua se usan para aumentar la rata de penetración, lubricar la sarta y así disminuir el torque y la reducción del filtrado.

### 2.10.5. MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS

- Equipo para prueba de filtrado API.
- Equipo para prueba de filtrado HPHT.
- Equipo de retorta completo.
- pH-metro.
- Equipo completo para medir viscosidades.
- Balanza de lodos.
- Barita.
- Aceite diesel.
- Invermul.

- Duratone.
- ez-mul.
- Geltone.
- Cloruro de calcio.

#### 2.10.6. PROCEDIMIENTO

Preparar las siguientes muestras:

1. 1 bbl eq de lodo con relación O/W 70/30 con diesel + 6 lpb de invermul + 4 lpb de cal + 6 lpb de duratone + 2 lpb de ez-mul 5 lpb de CaCl<sub>2</sub> + 2 lpb de geltone + barita necesaria para alcanzar una densidad de 9 lpg.
2. 1 bbl eq de lodo con relación O/W 85/15 con diesel + 6 lpb de invermul + 4 lpb de cal + 6 lpb de duratone + 2 lpb de ez-mul 5 lpb de CaCl<sub>2</sub> + 3 lpb de geltone + barita necesaria para alcanzar una densidad de 9.8 lpg.
3. 1 bbl eq de lodo con relación O/W 74/26 con diesel + 2 lpb de ez-mul + 3 lpb de cal + 2 lpb de duratone + 3 lpb de geltone + 5 lpb de CaCl<sub>2</sub> + barita necesaria para alcanzar una densidad de 9.8 lpg.
4. 1 bbl eq de lodo con relación O/W 80/20 con diesel + 4 lpb de ez-mul + 3 lpb de cal + 2 lpb de duratone + 3 lpb de geltone + 5 lpb de CaCl<sub>2</sub> + barita necesaria para alcanzar una densidad de 9 lpg.
5. 1 bbl eq de lodo 100% aceite diesel + 2 lpb de cal + 6 lpb de duratone + 8 lpb de geltone + barita necesaria para alcanzar una densidad de 9 lpg.
6. 1 bbl eq de lodo 100% aceite diesel + 6 lpb de cal + 6 lpb de duratone + 8 lpb de geltone + barita necesaria para alcanzar una densidad de 9.8 lpg.

### 2.10.7. CALCULOS

Determinar a cada una de las muestras anteriores las siguientes propiedades:  $V_a$ ,  $V_p$ ,  $Y_p$ , pH, % sólidos, % agua, % aceite, análisis de la torta, pérdidas de filtrado API y HPHT.

Medir la estabilidad de cada una de las emulsiones preparadas.

### 2.10.8. PRESENTACION DE RESULTADOS

Tabla 15. Propiedades de los lodos base aceite.

Muestra	$V_p$	$Y_p$	$V_a$	pH	Densidad	Torta	% Aceite
1							
2							
3							

Muestra	% Agua	% Sólidos	Filtrado API	Filtrado HPHT	Estabilidad
1					
2					
3					

### 2.10.9. CUESTIONARIO

1. ¿Para que operaciones se deben usar los lodos aceite 100%?
2. ¿Qué es la estabilidad de la emulsión?, ¿Qué la afecta? Y ¿Cómo se mide?
3. ¿Cuales deben ser las características mas importantes del aceite que se emplea para los lodos emulsionados?

## **2.11. PRACTICA No 11. PRUEBA DE AZUL DE METILENO (MBT) Y RESISTIVIDAD**

### 2.11.1. OBJETIVOS

- Determinar la cantidad y capacidad de intercambio catiónico de las arcillas dispersas en el lodo.
- Entender la importancia de esta prueba como complemento a la prueba de la retorta para la composición de los sólidos presentes en el lodo.
- Determinar la resistividad del lodo, la retorta y del filtrado, y entender su aplicación práctica.

### 2.11.2. FUNDAMENTO TEORICO

La capacidad al azul de metileno de un fluido de perforación es una indicación de la cantidad de arcillas reactivas (bentonita o sólidos de perforación) presentes, determinadas por el ensayo del azul de metileno (MBT). La capacidad al azul de metileno da un estimado de la capacidad total de intercambio catiónico (CEC) de los sólidos en el fluido de perforación. La capacidad al Azul de Metileno y la capacidad de intercambio catiónico no son necesariamente equivalentes, siendo normalmente la capacidad al azul de metileno algunas veces menor que la capacidad de intercambio catiónico real.

La resistividad es la oposición al paso de una corriente eléctrica por un determinado ambiente, en el caso del lodo esta depende del contenido del mismo, un lodo con solo arcillas presentará alta resistividad, mientras que en presencia de sales esta aumenta. (Ver manual interactivo)

### 2.11.3. TEMAS DE INVESTIGACION

- Capacidad de intercambio catiónico de las arcillas.
- Sólidos de alta y baja gravedad.
- Resistividad del lodo, del filtrado y de la torta.

### 2.11.4. IMPORTANCIA Y APLICACIÓN

La prueba de MBT tiene una gran importancia en el análisis del lodo, puesto que nos permite hacer el cálculo de los sólidos de baja gravedad que se encuentran en el lodo. Estos datos unidos a los del % de sólidos totales dan una apreciación más exacta de la calidad del lodo para determinar si los sistemas de control de sólidos en superficie están haciendo un buen trabajo, además de permitir identificar en gran forma las formaciones que están siendo perforadas.

La prueba de resistividad del lodo permite evaluar con mayor precisión los datos de los registros eléctricos, ya que en la toma de estos interfieren las resistividades del lodo y de la torta.

### 2.11.5. MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS

- Equipo para prueba de filtrado API.
- Equipo de retorta completo.
- Balanza de lodos.
- Medidor de resistividad.
- Equipo completo para medir viscosidades.
- Erlenmeyer.
- Probeta graduada, 50 ml.
- Pipeta, 10 ml.
- Placa de calentamiento.
- Papel de filtro
- Azul de metileno.

- Pac-L.
- Bentonita y barita.
- Arcilla natural.
- Peroxido de hidrógeno, al 3%.
- Sal común (NaCl).
- Agua destilada.
- Acido sulfúrico, 5N.

#### 2.11.6. PROCEDIMIENTO

Preparar las siguientes muestras:

1. Lodo 1: 3 bbl eq con 20 lpb de bentonita y 1.2 lpb de Pac-L
2. Lodo 2: 3 bbl equ con 15 lpb de bentonita.
3. Lodo 3: 3 bbl eq con 20 lpb de bentonita
4. 1 bbl eq de lodo 1 + 12 lpb de arcilla natural + 10 lpb de barita.
5. 1 bbl eq de lodo 2 + 10 lpb de arcilla natural + 10 lpb de barita.
6. 1 bbl eq de lodo 3 + 10 lpb de arcilla natural.
7. 1 bbl eq de lodo 1 + 10 lpb de arcilla natural + 25 lpb de sal.
8. 1 bbl eq de lodo 2 + 10 lpb de arcilla natural + 20 lpb de sal.
9. 1 bbl eq de lodo 3 + 10 lpb de arcilla natural + 10 lpb de sal.

### 2.11.7. CALCULOS

Determinar a cada una de las muestras anteriores las siguientes propiedades:  $V_a$ ,  $V_p$ ,  $Y_p$ , % sólidos de baja y alta gravedad, % arena, pérdidas de filtrado, festividad del lodo ( $R_m$ ), resistividad del filtrado ( $R_{mf}$ ), resistividad de la torta ( $R_{mc}$ ) y la cantidad total equivalente de bentonita.

### 2.11.8. PRESENTACION DE RESULTADOS

Tabla 16. Prueba de azul de metileno y resistividad.

Muestra	$V_p$	$Y_p$	$V_a$	Gel a 10 seg	$R_m$	$R_{mf}$	$R_{mc}$
1							
2							
3							

Muestra	% Arena	Filtrado API	% Sólidos	MBT (lpb)
1				
2				
3				

*Nota:* El profesor determinará la cantidad de muestras y aditivos que deberán ser analizadas por cada uno de los grupos.

### 2.11.9. CUESTIONARIO

- Un lodo tiene un incremento de 5% en el % de sólidos, ¿si los sólidos incrementados son inertes, hay incremento en el MBT? Explique.
- ¿Físicamente que significado tiene la capacidad de azul de metileno?
- ¿Cómo es el cambio en la resistividad de un lodo cuando disminuye la salinidad?

## **2.12. PRACTICA No 12. PROPIEDADES DE UNA LECHADA DE CEMENTO**

### **2.12.1. OBJETIVOS**

Preparar mezclas de agua – cemento y determinar sus principales propiedades.

Analizar la importancia y aplicación de los cementos en la perforación de pozos de petróleo.

### **2.12.2. FUNDAMENTO TEORICO**

El cemento es todo material que tiene propiedades adhesivas o cohesivas que en contacto con el agua se solidifica y endurece. A esta mezcla de cemento y agua que se emplea en la cementación de pozos, es a la que se le denomina lechada.

Las propiedades que se requieren en una lechada dependen de su utilización y son muy variadas en función del tipo de trabajo. Para lograr estas propiedades se usan diferentes tipos de cementos, aunque si no es posible lograrlas solo con el cemento, se han desarrollado muchos productos que se usan como aditivos para modificar las propiedades del cemento.

Estas propiedades se deben monitorear constantemente para optimizar el uso de los cementos. Esto se hace mediante las pruebas que se realizarán en esta práctica y otras complementarias. (Ver manual interactivo)

### 2.12.3. TEMAS DE INVESTIGACION.

- Preparación de una lechada de cemento.
- Objetivos de la cementación y factores que la afectan.
- Clases de cementos.
- Aditivos para los cementos.
- Agua mínima, máxima, normal y libre.

### 2.12.4. IMPORTANCIA Y APLICACIÓN

Para lograr una buena cementación en un pozo petrolífero es importante controlar las propiedades dependiendo de las condiciones de presión, temperatura y profundidad. Muchas de las propiedades como el tiempo de fraguado, la densidad, la viscosidad y el tiempo de bombeabilidad; dependen de la cantidad de agua utilizada, por lo que es importante calcular el agua libre, máxima, mínima y normal.

Para lograr un desplazamiento del lodo de perforación, evitando la contaminación del cemento es necesario controlar la densidad (densidad del cemento mayor a la del lodo) y hacer los cálculos de los modelos de flujo.

### 2.12.5. MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS

- Consistómetro atmosférico.
- Balanza de lodos.
- Viscosímetro Fann.
- Probetas (de 25 ml y 250 ml)
- Multimixer.
- Cemento clase G.

### 2.12.6. PROCEDIMIENTO

Preparar cuatro lechadas de cemento clase G (o la clase que determine el profesor) con diferente composición en peso o fracción (x), entre 0.3 y 0.6.

### 2.12.7. CALCULOS

Determinar las cantidades de cemento y agua a utilizarse para preparar cada una de las lechadas.

A cada lechada calcularle la densidad,  $V_p$ ,  $Y_p$ , n y k de la ley de potencia, contenido de agua libre y agua máxima.

Para el cemento utilizado hacer un grafico de fracción (x) vs. unidades Beardem de consistencia ( $B_c$ ). Y determinar el agua mínima y el agua normal.

### 2.12.8. PRESENTACION DE RESULTADOS

Tabla 17. Propiedades de una lechada de cemento.

<b>Lechada</b>	<b>x</b>	<b>H<sub>2</sub>O</b> <b>cc</b>	<b>Cemento</b> <b>gr</b>	<b>V<sub>p</sub></b>	<b>Y<sub>p</sub></b>	<b>k</b>	<b>n</b>	<b>Consistencia</b> <b>a 20 min (U<sub>c</sub>)</b>	<b>Densidad</b>
<b>1</b>									
<b>2</b>									
<b>3</b>									
<b>4</b>									

*Nota:* El profesor determinará la fracción y el tipo de cemento a utilizar.

### 2.12.9. CUESTIONARIO

1. ¿Que diferencia hay entre un cemento clase A y uno clase G?.
2. ¿Qué es el tiempo de bombeabilidad de una lechada de cemento y cual es su importancia?
3. ¿Cómo se mide la calidad de una cementación en un pozo petrolero?
4. Enumere los principales aditivos que se utilizan para controlar las propiedades de una lechada de cemento.
5. ¿Cuales son los problemas que se pueden presentar en una cementación?
6. ¿Qué importancia tiene la reología y la densidad en las lechadas de cemento?

## **2.13. PRACTICA No 13. ANALISIS Y TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

### 2.13.1. OBJETIVOS

- Determinar las propiedades de aguas lodosas y el tratamiento respectivo.
- Hacer análisis de jarras para determinar el tipo y dosificación del floculante a utilizar.
- Plantear un debate sobre las aguas de producidas durante las operaciones de perforación y producción, y los efectos que estas causan el medio ambiente.

### 1.13.2. FUNDAMENTO TEORICO

Las pruebas que se realizan en el laboratorio a aguas tienen como propósito conocer su composición, es decir, el tipo y la cantidad de sustancias que esta contiene, bien sea en solución o en suspensión.

Las sustancias en solución se analizan igual como en la práctica de análisis químico del agua. En esta parte analizamos las sustancias que se encuentran en suspensión, que afectan características como el color y la turbidez.

La turbidez es una medida de la cantidad de partículas orgánicas en suspensión en el agua. Los sedimentos en suspensión introducidos en la perforación y los que utilizamos para dar propiedades al lodo enturbian el agua.

El color en el agua, puede estar asociado a sustancias en solución (color verdadero) o a sustancias en suspensión (color aparente). El primero es el

que se obtiene a través de muestras filtradas, mientras que el segundo (el cual nos atañe en esta práctica) proviene de mediciones directas sobre muestras sin filtrar.

Como los contaminantes que influyen en la turbidez y en el color del agua se encuentran en suspensión, inicialmente se usan medios físicos para separarlos (precipitarlos). Los que no se precipitan inicialmente se deben tratar con sustancias coagulantes (aglutinantes o aclarantes) para lograrlo. La cantidad y el tipo de coagulante que se debe usar, se puede determinar mediante la prueba de jarras. (Ver manual interactivo)

### 2.13.3. TEMAS DE INVESTIGACION

- Estudio de la calidad del agua.
- Turbidez, color y cantidad de sólidos en el agua.
- Tipos de contaminantes de las aguas lodosas.
- Tratamiento de las aguas de perforación y producción.

### 2.13.4. IMPORTANCIA Y APLICACIÓN

El agua como elemento vital, es uno de los recursos más importantes para el hombre y también el más afectado durante las operaciones de producción y perforación. Tanto las normativas gubernamentales como la conciencia y la ética ambiental obligan a tratar estas para su vertimiento en la naturaleza con unos estándares de calidad establecidos.

Las pruebas realizadas en esta práctica nos permiten determinar las propiedades del agua de perforación y con esto poder implementar el sistema de tratamiento más acertado para lograr los valores necesarios para

poder verter esta agua a las fuentes naturales, causando el menor impacto posible.

#### 2.13.5. MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS

- Equipo para prueba de jarras.
- Seis vasos de precipitados de 2000 ml.
- Pipetas graduadas de 2, 5, 10, 15 20 y 25 ml.
- pHmetro.
- Sulfato de aluminio (alumbre)
- Solución de NaOH, 10N.
- Solución de HCl, 10N.
- Kit para determinación de turbidez y color.
- Equipo y reactivos para pruebas de química de aguas.
- Bentonita
- Carboximetilcelulosa (CMC).
- Enviro-Thin.

#### 2.13.6. PROCEDIMIENTO

Preparar las siguientes muestras una semana antes de la prueba para permitir la decantación natural:

1. 1.2 litros de lodo con 20 lpb de bentonita
2. 1.2 litros de lodo con 25 lpb de bentonita
3. 1.2 litros de lodo con 20 lpb de bentonita + 1.5 lpb de Enviro-Thin.
4. 1.2 litros de lodo con 25 lpb de bentonita + 1.5 lpb de CMC.

Luego de la semana desechar el precipitado y utilizar el líquido para realizarle las pruebas.

### 2.13.7. CALCULOS

Hacer los cálculos de color y turbidez para las muestras sin tratar.

Realizar la prueba de jarras a cada una de las muestras divididas en 5 vasos con 5, 10, 15, 20 y 25 ml de sulfato de aluminio (alumbre) como aglutinante. Medir en cada una luego de la prueba el color y la turbidez.

Hacer un gráfico de ml de aglutinante vs. turbidez y calcular la cantidad óptima de aglutinante a usar en cada tipo de agua.

### 2.13.8. PRESENTACION DE RESULTADOS

Tabla 18. Propiedades de las aguas residuales tratadas con aglutinante.

<b>MUESTRA No.</b>		
<b>ml de aglutinante</b>	<b>Turbidez</b>	<b>Color</b>
<b>0</b>		
<b>5</b>		
<b>10</b>		
<b>15</b>		
<b>20</b>		
<b>25</b>		
<b>Cantidad óptima de aglutinante:</b>		

*Nota:* La preparación de las muestras, el tipo de aglutinante y las cantidades a utilizar del mismo serán determinadas por el profesor.

### 2.13.9. CUESTIONARIO

1. Hacer el análisis de los resultados obtenidos.
2. ¿Qué importancia tiene el tratamiento de las aguas residuales para las empresas petroleras?
3. ¿Qué efecto tiene el dispersante en la decantación de los sólidos del lodo teniendo en cuenta las condiciones de las muestras luego de una semana y las pruebas realizadas a cada una de las muestras?
4. ¿De que depende el tipo de aglutinante a usar para tratar las aguas lodosas?

### **3. MANUAL INTERACTIVO**

Luego de crear esta guía práctica, consideramos necesario hacer uso de las herramientas de cómputo para crear una guía interactiva la cual contiene un completo compendio teórico y se complementa con la parte práctica también.

Esta guía permite al estudiante de una manera bastante amigable por su interfaz con el usuario, tener un acceso rápido a la información y además poderla imprimir lo que soluciona en parte la falta de acceso al único libro existente hasta ahora como manual de laboratorio de lodos y cementos.

El manual consta de un menú inicial de doce ítems, los cuales son:

Instrucciones generales de laboratorio.

Generalidades de los lodos.

Propiedades físicas de los lodos.

Química de las arcillas.

Equipos y procedimientos.

Prácticas de laboratorio.

Propiedades de flujo de los lodos.

Tipos de lodos

Cementos.

Aguas residuales.

Hidráulica de fluidos de perforación (documento anexo).

Glosario.

Cada ítem da acceso a un archivo dentro del cual se encuentra un contenido con hipervínculos que llevan al estudiante a las partes específicas que desea investigar.

Estos contenidos le permiten tener al estudiante información acerca del manejo, preparación, conversión y mantenimiento de los diferentes tipos de lodos, además del estudio y control de sus propiedades, y el manejo de los equipos, los procedimientos y cálculos.

También una completa información sobre los cementos, usos, tipos, propiedades y procedimientos de pruebas.

Las aguas residuales, su manejo y el monitoreo de sus propiedades, además de evaluar sustancias para su descontaminación.

Se incluye como anexo, un documento que resume de forma sencilla la hidráulica de perforación, ya que todas las medidas que se realizan en el laboratorio (con excepción de aguas), son de propiedades que están directamente relacionadas y que afectan los cálculos.

Este manual interactivo es muy fácil de manejar puesto que no se requieren conocimientos específicos en sistemas, sino el mínimo conocimiento que los estudiantes a este nivel deben tener.

#### 4. CONCLUSIONES

- ✓ Se logró hacer una actualización tanto de forma como de contenidos del manual de laboratorio de lodos y cementos de forma tal que llena las expectativas del nuevo plan de estudios.
- ✓ Se reestructuraron las prácticas tomando en cuenta las tecnologías a las cuales los estudiantes tienen acceso. Utilizando los equipos nuevos que ha adquirido el laboratorio y agregando una prueba (aguas residuales) la cual estaba contemplada en el contenido de la materia y se cuentan con los equipos; pero no se encontraba estructurada la práctica ni el contenido teórico de la misma.
- ✓ Incluimos dentro de esta guía una clara orientación en el manejo correcto de las instalaciones del laboratorio, de las medidas de protección que se deben usar, de los riesgos existentes y de la forma de evitarlos; y de la forma de actuar en caso de presentarse alguna eventualidad.
- ✓ Se incluyó también información sobre el manejo de los productos químicos, específicamente, la identificación de los peligros aprendiendo a interpretar correctamente la ficha de seguridad y la etiqueta.

- ✓ El laboratorio de lodos y cementos junto con esta guía práctica y la guía interactiva brinda oportunidad a los estudiantes de egresar con buen conocimiento y habilidad en el manejo, control y mejoramiento de los fluidos de perforación.
  
- ✓ Se implementa una guía interactiva como complemento de esta guía práctica, que permitirá a los estudiantes un fácil acceso a la información sobre los fluidos de perforación y aguas residuales.

## 5. RECOMENDACIONES

- ✓ Durante la realización de la guía de laboratorio, inicialmente se hizo un análisis del desempeño de los estudiantes en el laboratorio, durante la realización de las prácticas. Se identificaron falencias en la calidad de los reactivos lo cual lleva a la obtención de resultados poco confiables. Por lo cual se le sugiere a la escuela de ingeniería de petróleos, adquirir reactivos de mejor calidad.
- ✓ Los equipos usados en el laboratorio de lodos y cementos de la escuela de ingeniería de petróleos, presentan daños en su gran mayoría, llegando a tener en algunos casos un solo equipo para el trabajo de todo el grupo y en otros casos no pudiendo realizar las pruebas. Por esto se recomienda a la escuela hacer mantenimiento a los equipos existentes y adquirir equipos con nueva tecnología.
- ✓ Se requiere mantener en stock aditivos de buena calidad y sin vencimiento, los cuales se pueden conseguir con las empresas de lodos o que sean directamente adquiridos por la escuela.
- ✓ Implementar la guía interactiva, usando las herramientas de computación disponibles, la cual permite acceder fácilmente a la información teórica, al manejo y descripción de los equipos, a los procedimientos prácticos y a la realización de los objetivos de cada

una de las prácticas incluidas en el contenido del laboratorio de lodos y cementos. Se requiere instalar esta guía para consulta permanente de los estudiantes en el laboratorio, centro de cómputo y biblioteca de petróleos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ARIZA L.E. y Otros. , 1998. Manual de Seguridad en el Laboratorio de Lodos y Cementos.

ARIZA L.E. y Otros. , 1998. Manual de Seguridad de los Reactivos Químicos.

ARIZA L.E. , 2002. Aprendizaje cooperativo como estrategia metodologica para el trabajo en el laboratorio, Monografía. 2002.

BAROID A HALLIBURTON COMPANY, 1998. Manual de Fluidos Baroid y Hojas con Datos de Productos de Baroid. Houston, Texas.

M-I & SWACO, 2001. Drilling Fluids Engineering Manual. Versión 2.0. Houston, Texas.

OFI TESTING EQUIPMENT. , 2007. Procedimientos. Página de internet. [www.ofite.com](http://www.ofite.com).

BUSTOS, J.E. y OSPINO, R.E. , 1988. Reestructuración Teórico-Práctica del laboratorio de lodos y cementos. Universidad Industrial de Santander, Manuales Teórico y Práctico. Tesis de grado. Bucaramanga.

IMCO SERVICES, 1981. Tecnología Aplicada de Lodos. Séptima edición. Halliburton Company, 112 p. Houston; Texas.

BECARIA, J.A. y MARTINEZ, C.A., 1997. Tratamiento de Ripios de la Perforación con Lodos Base Aceite. Universidad Industrial de Santander, Tesis de grado. 188 P. Bucaramanga.

NIÑO, C.A., 2003. Proyecto de Grado en la Modalidad de Práctica Empresarial en la Línea de Cementación con Halliburton Latin America S.A. Universidad Industrial de Santander, Tesis de grado. 259 P. Bucaramanga.

ACERO, V.M. y ACEVEDO, G., 1984. Análisis de los Lodos de Bajo Contenido de Sólidos de Baja Gravedad. Universidad Industrial de Santander, Tesis de grado. 222 P. Bucaramanga

BOURGOYNE, A.T, MILLHEIM, K, CHENEVERT, M.E. y YOUNG, F.S., 1985 Applied Drilling Engineering.

HUGES SERVICES COMPANY., Manual de Cementación para Ingenieros. Mendoza: Centro de capacitación, 1980.

CARRILLO, J.I., 1995. Estudios de la Contaminación Ocasionada por Lodos de Perforación Sobre Cuerpos de Agua. Universidad Industrial de Santander, Monografía. 63 P. Bucaramanga.