

**ESTUDIO DE LA FACTIBILIDAD DEL USO DE LA RESINA DE PLÁTANO
COMO AGENTE CONTROLADOR DE FILTRADO BIODEGRADABLE EN
Lodos DE PERFORACIÓN BASE AGUA**

**GUSTAVO ANDRÉS NIÑO FORERO
JOANNA LILIANA GUIO PUERTO**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BUCARAMANGA**

2012

**ESTUDIO DE LA FACTIBILIDAD DEL USO DE LA RESINA DE PLÁTANO
COMO AGENTE CONTROLADOR DE FILTRADO BIODEGRADABLE EN
LODOS DE PERFORACIÓN BASE AGUA**

**GUSTAVO ANDRÉS NIÑO FORERO
JOANNA LILIANA GUIO PUERTO**

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

Director:

Ing. Edelberto Hernandez Tréjos

CoDirector:

Economista Hernando Cañas Rojas

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BUCARAMANGA**

2012

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mi familia, mis padres Álvaro y Martha, mi hermana Katherine y mis primitas Luisa y Natalia, quienes han sido las únicas personas que me han apoyado y motivado todos estos años.

También quiero extender mis agradecimientos a todos aquellos amigos y compañeros, con los cuales he compartido mi formación como Ingeniero de Petróleos, como lo son Leo, el negro Oscar, Rossi, Toloza, Fabián, Steven, Diana, Monsalve, Greysi, Fanny, Moranti, George, el caballero de petróleo Jacobo y a todos aquellos de los que no me acuerdo.

Gustavo Andrés Niño Forero

DEDICATORIA

Hoy quiero agradecer a todos aquellos que me ayudaron a hacer posible la realización de este sueño, de mi sueño!

A Dios, en primer lugar por darme fuerzas y no desfallecer en el camino; a mis padres, Lucio Guio y Martha Puerto, por su apoyo constante, su comprensión amor y confianza que depositaron en mí durante todo este tiempo; a mis hermanos; por su comprensión, cariño y por cada experiencia vivida y aprendida. A Jaime, en primer lugar por ser el pilar de fuerza de mi vida y en segundo lugar por su apoyo incondicional, su comprensión, su tolerancia y sobre todo por su infinito amor.

A mis profesores, por su interminable paciencia y sabiduría en guiarme por este arduo pero gratificante camino del conocimiento; A mis queridos amigos Jader, Wilder y Jesús por su inapreciable apoyo; a Diana y Ines por su infinita paciencia y colaboración.

A mis queridos ex compañeros de la Junta ACEIP, Fercho, José David, Andrés, porque con ellos aprendí el valor de la amistad y el trabajo en equipo; a mi querida Yeny, por ser su eterna paciencia y por siempre prestarnos su colaboración. Gracias a todas las personas que intervinieron para que se hiciera realidad mi más caro anhelo. . .

Joanna Liliana Guio Puerto

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresamos nuestros agradecimientos a:

Ingeniero Edelberto Hernández Trejos, quien nos permitió participar en este proyecto de investigación.

Al profesor Hernando Cañas Rojas; Economista; por su aporte y colaboración en la evaluación económica de este proyecto.

Ingeniero Emiliano Ariza León, quien nos dio las pautas y compartió las experiencias para el diseño experimental, aplicados en este proyecto.

Ingeniero Jaime Loza, quien gracias a su colaboración, pudimos obtener el bactericida utilizado para la conservación de la resina de plátano.

Señor Alexander Beltrán Barrera, laboratorista del laboratorio de lodos y cementos, quien nos guio, colaboro, apoyo, en el desarrollo del laboratorio, compartiendo sus experiencias y conocimientos.

A la planta docente de Escuela de Ingeniería de Petróleos de la Universidad Industrial de Santander, quien a través de estos años, nos ha dado el conocimiento para enfrentar este proyecto de investigación.

Al personal administrativo de la Escuela de Ingeniería de Petróleos, quienes nos permitieron utilizar los recursos del Laboratorio de Lodos y Cementos, así mismo al personal administrativo de la Escuela de Ingeniería Química quienes nos permitieron el uso del Laboratorio de Operaciones Unitarias, con colaboración de su personal encargado.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	31
1. FLUIDOS DE PERFORACIÓN	32
1.1. FUNCIONES Y PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN	32
1.1.1. Fluido.	32
1.1.2. Funciones de los fluidos de perforación.	32
1.1.3. Funciones de los fluidos.	33
1.1.4. Propiedades de los fluidos de perforación.	37
1.1.5. Propiedades físicas.	38
1.1.6. Propiedades químicas.	41
1.2. EQUIPOS Y PROCEDIMIENTOS DE ANÁLISIS DE FLUIDO DE PERFORACIÓN	42
1.2.1. Densidad del fluido.	42
1.2.2. Concentración iónica de Hidrogeno pH.	44
1.2.3. Viscosidad.	46
1.2.4. Filtrado API.	49

1.2.5. Análisis químico de los fluidos de perforación base Agua.	51
1.3. QUÍMICA BÁSICA DE LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN	55
1.3.1. Composición de los fluidos.	55
1.3.2. Química del agua.	56
1.3.3. Solución amortiguada.	59
1.3.4. Alcalinidad del filtrado (Pf y Mf).	60
1.3.5. Determinación de la alcalinidad del filtrado (Pf/Mf).	60
1.3.6. Alcalinidad del lodo (Pm).	62
1.4. DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA DE LAS ARCILLAS	63
1.4.1. Las arcillas.	63
1.4.2. Hidratación.	64
1.4.3. Agregación.	64
1.4.4. Dispersión.	64
1.4.5. Floculación.	65
1.4.6. Desfloculación.	65
1.4.7. Mineralogía de las arcillas.	65
1.4.8. Clasificación de las arcillas.	66

1.5. RENDIMIENTO DE LAS ARCILLAS	67
1.5.1. Curva de rendimiento.	67
2. FLUIDOS BASE AGUA	70
2.1. GENERALIDADES	70
2.1.1. Lodos base agua.	70
2.1.2. Lodos base aceite.	71
2.1.3. Lodos neumáticos.	71
2.2. EMULSIÓN	72
2.2.1. Emulsión directa.	72
2.2.2. Emulsión inversa.	73
2.3. CLASIFICACIÓN DE FLUIDOS A BASE AGUA	73
2.3.1. Fluidos no dispersos no inhibidos.	73
2.3.2. Fluidos no dispersos inhibidos.	76
2.3.3. Fluidos dispersos no inhibidos.	82
2.3.4. Fluidos dispersos inhibidos.	84
2.3.5. Fluidos convencionales de baja densidad.	87
3. ADITIVOS PARA FLUIDOS DE PERFORACIÓN	89

3.1. MATERIALES DENSIFICANTES	89
3.1.1. Barita.	90
3.1.2. Agentes contaminantes de la Barita.	90
3.2. MATERIALES VISCOSIFICANTES	92
3.2.1. Bentonita.	92
3.2.2. Atapulguita.	93
3.2.3. Hidroxietilcelulosa (HEC).	93
3.2.4. Goma Xántica.	93
3.3. MATERIALES DISPERSANTES.	94
3.3.1. Lignosulfonatos.	94
3.4. MATERIALES PARA CONTROLAR EL PH.	95
3.4.1. Soda cáustica.	95
3.4.2. Oxido de magnesio.	96
3.5. MATERIALES PARA DAR LUBRICIDAD	96
3.6. MATERIALES SURFACTANTES	97
3.7. MATERIALES PARA LA REMOCIÓN DE SÓLIDOS	97
3.7.1. Método químico.	97

3.7.2. Método mecánico.	98
3.8. MATERIALES ESTABILIZANTES DE LUTITAS	98
3.9. MATERIALES PARA EL CONTROL DE LA CORROSIÓN	99
3.10. MATERIALES PARA EL CONTROL DE BACTERIAS Y HONGOS	100
3.11. MATERIALES PARA LA PRECIPITACIÓN DE CONTAMINANTES	100
3.12. MATERIALES PARA CONTROLAR LA PÉRDIDA DE CIRCULACIÓN	101
3.12.1. Pérdida de circulación por invasión.	102
3.12.2. Pérdida de circulación por fracturación.	102
3.13. MATERIALES PARA EL CONTROL DE FILTRACIÓN	105
3.13.1. Formación y calidad del revoque.	105
3.13.2. Problemas potenciales relacionados con el espesor excesivo del revoque.	105
3.13.3. Problemas potenciales relacionados con la invasión excesiva de filtrado.	106
4. FACTIBILIDAD DEL USO DE LA RESINA DE PLÁTANO.	109
4.1. GENERALIDADES DE LA MATA DE PLÁTANO Y RESINA DE PLÁTANO.	109
4.1.1. Origen, evolución y distribución.	110

4.1.2. Morfología del plátano.	111
4.1.3. Ecología de cultivo.	112
4.1.4. El suelo.	113
4.1.5. Enfermedades de importancia económica en el cultivo de plátano.	115
4.1.6. Variedades de plátano.	119
4.1.7. Producción de plátano en el mundo.	122
4.1.8. La cadena del plátano en Colombia.	123
4.1.9. Producción de plátano en Colombia.	125
4.2. RECOLECCIÓN, PRUEBAS DE PRESERVACIÓN Y COMPATIBILI- DAD DE LA RESINA DE PLÁTANO	126
4.2.1. Recolección de la resina de plátano.	126
4.2.2. Aplicación del Procedimiento.	128
4.2.3. Conservación de la resina de plátano	130
4.2.4. Pruebas de compatibilidad y preservación.	130
4.2.5. Resultados de la preservación de la resina de plátano	131
4.2.6. Resultados de Compatibilidad de la Resina de Plátano.	140
4.3. DISEÑO EXPERIMENTAL	143

4.3.1. Definición de Variables.	143
4.3.2. Cuantificación de las variables de bloqueo.	144
4.3.3. Caracterización de la Resina de Plátano	147
4.3.4. Caracterización de la Resina de Plátano Reducida.	150
4.3.5. Experimentos a realizar	151
4.3.6. Diseño de plantillas para le recolección de datos de laboratorio.	152
4.4. PRUEBAS DE LABORATORIO	156
4.4.1. Experimentos de control.	156
4.4.2. Experimentos con resina de plátano.	169
4.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	216
4.5.1. Análisis para el L.B.	217
4.5.2. Análisis para el L.B contaminado con sal.	221
4.5.3. Análisis para el L.B contaminado con cal.	225
4.5.4. Análisis para el L.B contaminado con yeso.	229
5. ANÁLISIS FINANCIERO	233
6. CONCLUSIONES	236

7. RECOMENDACIONES	238
8. BIBLIOGRAFÍA	239

LISTA DE FIGURAS

1.1. Balanza de lodos	43
1.2. Medidor electrónico de pH	45
1.3. Viscosímetro rotacional	47
1.4. Filtro de prensa API.	49
1.5. Pruebas químicas.	51
1.6. Hidratación de la arcilla sódica y la arcilla cálcica.	64
1.7. Estructura de las arcillas.	66
1.8. Curva de rendimiento de la arcilla.	68
2.1. Tipo de emulsiones base aceite.	72
4.1. Ataque de la sigatoka negra.	115
4.2. Ataque de bacteriosis en seudotallo	116
4.3. Ataque por moko o maduraviche	117
4.4. Plátano tipo hartón	120
4.5. Plátano tipo dominico	121
4.6. La cadena del plátano	124
4.7. Maquina Extrusora de Rodillos Berstor AF.	127

4.8. Resina de Plátano Recuperada.	130
4.9. Bactericida B1	131
4.10.Registro Grafico de las Pruebas Realizadas.	132
4.11.Degradación de la R.P.T Día 01	133
4.12.Degradación de la R.P.S.T Día 01	133
4.13.Degradación de la R.P.T Día 03	135
4.14.Degradación de la R.P.S.T Día 03	135
4.15.Degradación de la R.P.T Día 05	137
4.16.Degradación de la R.P.S.T Día 05	137
4.17.Viscosidad Aparente Vs Concentración de Bentonita	145
4.18.Comportamiento reologico de la resina de plátano	148
4.19.Destilación Simple de la Resina de Plátano.	149
4.20.Comportamiento reologico de la resina de plátano reducida	151
4.21.Fase 01. Filtrado API	158
4.22.Fase 01. Comportamiento reológico	158
4.23.Fase 02. Filtrado API	161
4.24.Fase 02. Comportamiento reológico	161

4.25.Fase 03. Filtrado API	164
4.26.Fase 03. Comportamiento reológico	164
4.27.Fase 04. Filtrado API	167
4.28.Fase 04. Comportamiento reológico	167
4.29.Fase 05. Filtrado API	170
4.30.Fase 05. Comparación Comportamiento reológico a C1	170
4.31.Fase 05. Comparación Comportamiento reológico a C2	171
4.32.Fase 05. Comparación Comportamiento reológico a C3	171
4.33.Fase 05. Comparación Comportamiento reológico a C4	172
4.34.Fase 05. Comparación Comportamiento reológico a C5	172
4.35.Fase 06. Filtrado API	176
4.36.Fase 06. Comparación Comportamiento reológico a C1	176
4.37.Fase 06. Comparación Comportamiento reológico a C2	177
4.38.Fase 06. Comparación Comportamiento reológico a C3	177
4.39.Fase 06. Comparación Comportamiento reológico a C4	178
4.40.Fase 06. Comparación Comportamiento reológico a C5	178
4.41.Fase 07. Filtrado API	182

4.42.Fase 07. Comparación Comportamiento reológico a C1	182
4.43.Fase 07. Comparación Comportamiento reológico a C2	183
4.44.Fase 07. Comparación Comportamiento reológico a C3	183
4.45.Fase 07. Comparación Comportamiento reológico a C4	184
4.46.Fase 07. Comparación Comportamiento reológico a C5	184
4.47.Fase 08. Filtrado API	188
4.48.Fase 08. Comparación Comportamiento reológico a C1	188
4.49.Fase 08. Comparación Comportamiento reológico a C2	189
4.50.Fase 08. Comparación Comportamiento reológico a C3	189
4.51.Fase 08. Comparación Comportamiento reológico a C4	190
4.52.Fase 08. Comparación Comportamiento reológico a C5	190
4.53.Fase 09. Filtrado API	194
4.54.Fase 09. Comparación Comportamiento reológico a C1	194
4.55.Fase 09. Comparación Comportamiento reológico a C2	195
4.56.Fase 09. Comparación Comportamiento reológico a C3	195
4.57.Fase 09. Comparación Comportamiento reológico a C4	196
4.58.Fase 09. Comparación Comportamiento reológico a C5	196

4.59.Fase 10. Filtrado API	200
4.60.Fase 10. Comparación Comportamiento reológico a C1	200
4.61.Fase 10. Comparación Comportamiento reológico a C2	201
4.62.Fase 10. Comparación Comportamiento reológico a C4	201
4.63.Fase 10. Comparación Comportamiento reológico a C4	202
4.64.Fase 10. Comparación Comportamiento reológico a C5	202
4.65.Fase 11. Filtrado API	206
4.66.Fase 11. Comparación Comportamiento reológico a C1	206
4.67.Fase 11. Comparación Comportamiento reológico a C2	207
4.68.Fase 11. Comparación Comportamiento reológico a C3	207
4.69.Fase 11. Comparación Comportamiento reológico a C4	208
4.70.Fase 11. Comparación Comportamiento reológico a C5	208
4.71.Fase 12. Filtrado API	212
4.72.Fase 12. Comparación Comportamiento reológico a C1	212
4.73.Fase 12. Comparación Comportamiento reológico a C2	213
4.74.Fase 12. Comparación Comportamiento reológico a C3	213
4.75.Fase 12. Comparación Comportamiento reológico a C4	214

4.76. Fase 12. Comparación Comportamiento reológico a C5	214
4.77. Filtrado API del L.B bajo tratamientos.	218
4.78. Comportamiento reológico del L.B bajo tratamientos	218
4.79. Filtrado API del L.B contaminado con sal bajo tratamientos.	222
4.80. Comportamiento reológico del L.B contaminado con sal bajo trata- mientos	222
4.81. Filtrado API del L.B contaminado con cal bajo tratamientos.	226
4.82. Comportamiento reológico del L.B contaminado con cal bajo trata- mientos	226
4.83. Filtrado API del L.B contaminado con yeso bajo tratamientos.	230
4.84. Comportamiento reológico del L.B contaminado con yeso bajo tratamientos	230

LISTA DE TABLAS

1.1. Correlación entre pH y alcalinidad.	59
1.2. Propiedades básicas de los contaminantes de los fluidos de perforación.	62
1.3. Cantidad de libras por barril del tratante que reacciona con un EPM del contaminante	62
2.1. Composición típica del agua de mar (<i>8.5lb/gal</i>).	77
2.2. Propiedades de los sistemas salinos base formiato.	81
2.3. Conversión a fluido de cal.	85
2.4. Conversión a fluido de cal.	85
2.5. Conversión a fluido de yeso.	87
3.1. Materiales densificantes comunes.	89
4.1. Condiciones ecológicas favorables para el desarrollo de las variedades más culltivadas.	114
4.2. Producción mundial de plátano (Millones de tonelada)	122
4.3. Medidas de los Vástagos Procesados.	129
4.4. Medidas de Control de los Vástagos Procesados.	129
4.5. Dosificación de B1.	130
4.6. Relación de pruebas de compatibilidad y Preservación.	131

4.7. Convención del tratamiento	132
4.8. Control de Preservación 01	132
4.9. Control de Preservación 02	134
4.10. Control de Preservación 03	134
4.11. Control de Preservación 04	136
4.12. Control de Preservación 05	136
4.13. Control de Preservación 06	138
4.14. Control de Preservación 07	138
4.15. Control de Preservación 08	139
4.16. Control de Preservación 09	139
4.17. Compatibilidad con Bentonita a 31(lb/BB).	140
4.18. Compatibilidad con Termathin a 4(lb/BB).	141
4.19. Compatibilidad con Bicarbonato a 0.5(lb/BB).	141
4.20. Compatibilidad con NaOH a 0.5(lb/BB).	142
4.21. Compatibilidad con Lignox a 2(lb/BB).	142
4.22. Compatibilidad con $CaCO_3$ a 1.6(lb/BB).	143
4.23. Convención para concentración de la Resina de Plátano.	144

4.24. Determinación de Concentración de Agente Viscosificante.	145
4.25. Concentración de Agentes Controladores de Filtrado.	146
4.26. Concentración de Agentes Contaminantes	146
4.27. Características de la Resina de Plátano.	147
4.28. Destilación Simple de la Resina de Plátano.	149
4.29. Características de la Resina de Plátano Reducida	150
4.30. Relación de Experimentos.	151
4.31. Plantilla para la caracterización del lodo base y tratamiento con controladores de filtrado comercial.	152
4.32. Plantilla para la caracterización del lodo base contaminado y tratamiento con controladores de filtrado comercial.	153
4.33. Plantilla para la caracterización del lodo base tratado con resina de plátano y resina de plátano reducida.	154
4.34. Plantilla para la caracterización del lodo base contaminado y tratado con resina de plátano y resina de plátano reducida.	155
4.35. Convenciones utilizadas para las pruebas de laboratorio	156
4.36. Fase 01. Caracterización del L.B y tratamiento con controladores de filtrado comercial.	157
4.37. Fase 02. Caracterización del L.B contaminado con sal y tratamiento con controladores de filtrado comercial.	160

4.38.Fase 03. Caracterización del L.B contaminado con cal y tratamiento con controladores de filtrado comercial.	163
4.39.Fase 04. Caracterización del L.B contaminado con yeso y tratamiento con controladores de filtrado comercial.	166
4.40.Fase 05. Caracterización del L.B tratado con R.P.T	169
4.41.Fase 06. Caracterización del L.B contaminado con sal y tratado con R.P.T	175
4.42.Fase 07. Caracterización del L.B contaminado con cal y tratado con R.P.T.	181
4.43.Fase 08. Caracterización del L.B contaminado con yeso y tratado con R.P.T.	187
4.44.Fase 09. Caracterización del L.B tratado con R.P.R.T.	193
4.45.Fase 10. Caracterización del L.B contaminado con sal y tratado con R.P.R.T.	199
4.46.Fase 11. Caracterización del L.B contaminado con cal y tratado con R.P.R.T.	205
4.47.Fase 12. Caracterización del L.B contaminado con yeso y tratado con R.P.R.T.	211
4.48.Caracterización de los tratamientos del L.B	217
4.49.Caracterización de los tratamientos del L.B contaminado con sal. . . .	221
4.50.Caracterización de los tratamientos del L.B contaminado con cal. . . .	225

4.51. Caracterización de los tratamientos del L.B contaminado con yeso. . .	229
5.1. Relación de costos para la inversión inicial.	234
5.2. Especificaciones de la operación mensual	234
5.3. Procesamiento de la resina de plátano	234
5.4. Costo anual de operación	235
5.5. Flujo neto de caja	235
5.6. Comparación de costos de tratamientos	235

RESUMEN

TITULO: ESTUDIO DE LA FACTIBILIDAD DEL USO DE LA RESINA DE PLÁTANO COMO AGENTE CONTROLADOR DE FILTRADO BIODEGRADABLE EN LODOS DE PERFORACIÓN BASE AGUA *

AUTORES:

Gustavo Andrés Niño Forero

Joanna Liliana Guio Puerto**

PALABRAS CLAVES: Agente controlador de filtrado, agente secuestrante de calcio, resina de plátano, extracción mecánica, prueba de rendimiento, prueba de control de filtrado.

DESCRIPCIÓN: En la actividad de la perforación, los aditivos químicos con los que se prepara el lodo, representan un gran riesgo medio ambiente. Esta investigación esta enfocada a evaluar la resina de plátano como agente controlador de filtrado biodegradable en lodos base agua. La resina de plátano es una glucosa, obtenida para este caso por la extracción mecánica del vástago de la planta, el cual es un desecho de la operación de destronque de la mata de plátano.

Esta investigación esta estructurada en 5 capítulos. El Capítulo 1 describe las generalidades de los lodos de perforación, funciones, propiedades, equipos y pruebas utilizadas para el análisis de estos. Además, trata la descripción mineralógica y el rendimiento de las arcillas. El capítulo 2 esta enfocado a la descripción y clasificación de los fluidos base agua. El capítulo 3 describe y clasifica los diferentes aditivos usados en la formulación de los lodos de perforación. El capítulo 4 trata las generalidades de la mata de plátano. La recolección, pruebas de compatibilidad y preservación de la resina de plátano. El diseño experimental, pruebas de laboratorio y el análisis de resultados. El capítulo 5, es el análisis financiero en cual se determina la rentabilidad del proyecto y su correspondiente comparación financiera con los controladores de filtrado convencionales.

*Trabajo de grado

**Facultad De Ingenierías Físico-Químicas, Escuela De Ingeniería De Petróleos, Ing. Edelberto Hernandez Trejos. Economista Hernando Cañas Rojas.

ABSTRACT

TITTLE: FACTIBILITY STUDY OF THE USE OF BANANE RESIN AS A BIODEGRADABLE FILTRATE CONTROLLING AGENT IN WATER BASED DRILLING MUDS. ***

AUTHORS:

Gustavo Andrés Niño Forero

Joanna Liliana Guio Puerto****

KEY WORDS: filtrate controlling agent, calcium sequestration agent, banane resin, mechanical extraction, performance test, filtrate controlling test.

DESCRIPTION: In the drilling related activities, the chemical additives used to prepare the mud represent a great risk to the environment. This investigation is focused on the evaluation of the banane resin as a biodegradable filtrate controlling agent in water based muds. The banane resin is a glucose, which in this case is obtained by mechanical extraction of the stem of the plant, a product from taking the trunk from the banane plant.

This investigation is structured in 5 chapters. The first chapter describes the generalities of the drilling muds: functions, properties, equipment and tests used in mud analysis. Also, a mineralogical and performance of the clays is made. The chapter 2 is focused on the description and classification of water based fluids. The third chapter describes and classifies the different additives used in the drilling mud formulation. The fourth chapter deals with the generalities of the banane plant, the recollection of compatibility tests and the preservation of the banane resin. At this point a description of the experimental design, the laboratory tests and the result analysis is made. The chapter 5, regards the financial analysis, which determines the project profitability. A compared financial study is made with conventional filtrate controllers.

*** Graduate Thesis

**** Physical-Chemical Engineering School. Petroleum Engineering School. Director Eng. Edelberto Hernandez Trejos., Co-director Economist. Hernando Cañas Rojas.

INTRODUCCIÓN

Las actividades asociadas a la industria petrolera generan un gran impacto ambiental, desde el mismo momento de la exploración, de un campo, hasta la refinación del hidrocarburo. Los lodos con aditivos de origen químico, que se utilizan durante la perforación son una amenaza tanto para los suelos como para las formaciones con acuíferos presentes, una alternativa de solución son los aditivos de origen natural. En la práctica es demostrable que los lodos biodegradables generan un menor daño ambiental y por tanto los costos de recuperación de la zona afectada durante la perforación, disminuyen de manera significativa. Debido a esto surge la necesidad de la búsqueda de nuevas alternativas que involucren lodos sin aditivos de origen químico, además existe la necesidad de independizarse de los proveedores extranjeros, y generar nuevas alternativas de comercio con productos 100 % nacionales para cubrir las necesidades de la industria.

Este proyecto plantea una alternativa de solución frente a los controladores de filtrado comerciales que son de origen químico, y por ende no biodegradables. La investigación en el campo de productos biodegradables genera grandes expectativas frente a las problemáticas relacionadas con el medio ambiente y ofrecen una alternativa económica y rentable en la industria.

1. FLUIDOS DE PERFORACIÓN

1.1 FUNCIONES Y PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN

Los fluidos de perforación son sustancias con características fisicoquímicas específicas que garantizan la estabilidad del pozo durante la perforación; dar y mantener estas características es la principal responsabilidad del ingeniero de lodos.

1.1.1. Fluido.

El fluido de perforación o lodo como comúnmente se le llama, puede ser cualquier sustancia o mezcla de sustancias con características físicas y químicas apropiadas, como por ejemplo: aire o gas, agua, petróleo o combinaciones de agua y aceite con determinado porcentaje de sólidos. El fluido no debe ser tóxico, corrosivo, ni inflamable, pero sí inerte a las contaminaciones de sales solubles o minerales y estable a las altas temperaturas. Además, debe mantener sus propiedades según las exigencias de las operaciones, debe ser inmune al desarrollo de bacterias. ¹

1.1.2. Funciones de los fluidos de perforación.

Los fluidos deben cumplir con funciones específicas que faciliten el avance de la perforación, minimizando problemas de estabilidad del pozo y problemas

¹CENTRO INTERNACIONAL DE EDUCACIÓN Y DESARROLLO (CIED), ASOCIACIÓN CIVIL, FILIAL DE PETRÓLEOS DE VENEZUELA, S.A. Manual de fluidos de perforación. PDVSA. Primera versión, agosto, 2002

operacionales. Es responsabilidad del especialista realizar ensayos físico- químicos de acuerdo con las normas API para proceder a los ajustes necesarios que faciliten la consecución de los objetivos propuestos. ²

1.1.3. Funciones de los fluidos.

³ Lo más importante del fluido de perforación es hacer una operación de perforación ágil y segura, mediante el cumplimiento de las siguientes funciones:

Capacidad de transporte: La densidad, viscosidad y el punto cedente son las propiedades del fluido que junto a la velocidad de circulación o velocidad anular, hacen posible la remoción y el transporte de ripios desde el fondo del pozo hasta la superficie.

Enfriar y lubricar: El fluido de perforación facilita el enfriamiento de la broca al expulsar durante la circulación el calor generado por la fricción mecánica entre la broca y la formación. En cierto grado, por sí mismo, el fluido actúa como lubricante y esta característica puede incrementarse con aceite o cualquier producto químico elaborado para tal fin.

Formar revoque: Para minimizar los problemas de derrumbe y atascamiento de tubería en formaciones permeables, es necesario cubrir la pared del pozo con un revoque liso, delgado, flexible, de baja permeabilidad y altamente compresible.

²CENTRO INTERNACIONAL DE EDUCACIÓN Y DESARROLLO (CIED), ASOCIACIÓN CIVIL, FILIAL DE PETRÓLEOS DE VENEZUELA, S.A. Manual de fluidos de perforación. PDVSA. Primera versión, agosto, 2002

³Ibid.

El revoque se logra incrementando la concentración y dispersión de los sólidos arcillosos.

Controlar la presión de la formación: El fluido de perforación ejerce una presión hidrostática en función de la densidad y altura vertical del pozo, la cual debe controlar la presión de la formación, evitando un influjo hacia el pozo. Esta presión no depende de la geometría del pozo.

Capacidad de suspensión: La resistencia o fuerza de gel es la propiedad reológica del fluido que permite mantener en suspensión las partículas sólidas cuando se interrumpe la circulación. Esta propiedad retarda la caída de los sólidos, pero no la evita.

Flotabilidad: La sarta de perforación y la tubería de revestimiento pierden peso cuando se introducen en el pozo, debido al factor de flotación, el cual depende de la densidad o peso del fluido. En consecuencia, para calcular el peso de la sarta en el fluido, se multiplica su peso en el aire por el factor de flotación.

Estabilidad: La estabilidad de las formaciones permeables se logra con peso y revoque de calidad, y las impermeables con peso, cuando se trata de lutitas presurizadas, y con inhibición o con fluido cien por ciento aceite, cuando se trata de lutitas reactivas.

Evaluación: El fluido debe tener una alta calidad para facilitar la toma de núcleos y la evaluación de las formaciones perforadas.

Hidráulica: El fluido es el medio por el cual se transmite la potencia desde la superficie hasta el fondo del pozo. El programa hidráulico, trata de obtener la máxima caída de presión en la broca para seleccionar los valores óptimos de caudal y chorros, para facilitar una limpieza efectiva del fondo del pozo y del espacio anular.

Permitir la toma de registros del pozo: El éxito de una operación de perforación depende de la adecuada evaluación de la formación que se está perforando, el fluido de perforación debe tener las características fisicoquímicas adecuadas para cada etapa de la perforación en la cual se pretende tomar registros, ya sean registros geológicos, registros eléctricos, nucleares o sonoros.⁴

Controlar la corrosión en el equipo de perforación: Debido al permanente contacto del equipo de perforación con el fluido de perforación, y debido a los diferentes componentes disueltos en este, se pueden presentar graves problemas de corrosión, algunos gases como el oxígeno, el dióxido de carbono y el H₂S son causantes de corrosión durante la perforación, un bajo pH agrava la situación.⁵

Extraer los recortes del fondo del pozo productos de la perforación: En la operación de perforación se generan recortes, los cuales debe ser retirados en el menor tiempo posible, para hacer esto con la mayor eficiencia posible, debe haber un balance entre factores como la velocidad de penetración, la rotación de la columna, la viscosidad, la densidad y velocidad del fluido de perforación.⁶

⁴M-I & SWACO. Drilling Fluids Engineering Manual [Manual de Ingeniería de fluidos de perforación].Capítulo 3, Pruebas. Versión 2.0. Houston, Texas, 2001.

⁵Ibid.

⁶Ibid.

Controlar las presiones de la formación: Mantener una operación de perforación bajo control implica que ningún fluido de la formación fluya a través del pozo, sin control alguno. La forma en la cual se hace esto es determinando la presión hidrostática adecuada para cada etapa de la perforación, siendo esta función de la densidad del fluido de perforación y profundidad del pozo; un excesivo aumento de la densidad del fluido de perforación podría fracturar la formación, y una densidad muy baja no podría controlar las presiones de la formación provocando un reventón.⁷

Mantener en suspensión los recortes: En las situaciones en las cuales se interrumpe la circulación de un fluido de perforación, este fluido debe tener la capacidad de retardar la caída de los recortes de perforación, ya que si estos se sedimentan pueden ocasionar atascamientos y pérdida de circulación, para lograr la mayor eficiencia posible el fluido debe ser de alta viscosidad la cual debe ser inversamente proporcional a la velocidad de corte.⁸

Disminuir el daño ambiental en la zona de perforación: Durante y después de la operación de perforación el fluido de perforación puede y debe ser eliminado, esto siempre y cuando cumpla con los requisitos ambientales locales, normativas que no son únicas, y varían según la geopolítica, la fauna, flora y fuentes hidrológicas cercanas.⁹

Brindar estabilidad al pozo: Sin importar la composición química del fluido de perforación, el peso ejercido por este, debe ser proporcional a los esfuerzos mecánicos ejercidos por el pozo, para mantener la estabilidad de la perforación, un fluido muy pesado puede ocasionar fracturas en la formación y uno demasiado

⁷M-I & SWACO. Drilling Fluids Engineering Manual [Manual de Ingeniería de fluidos de perforación].Capítulo 2, Funciones. Versión 2.0. Houston, Texas, 2001.

⁸Ibid.

⁹Ibid.

liviano no podría controlar los fluidos, que se encuentren en el yacimiento, provocando un reventón.¹⁰

Permitir la cementación y el completamiento del pozo: El fluido de perforación debe producir un revoque liso que permita la correcta cementación de la tubería de revestimiento, esto es crítico para el aislamiento y completamiento de la zona de interés.¹¹

Disminuir los daños al yacimiento: Cualquier cambio petrofísico que afecte de forma negativa la roca reservorio, producto de la interacción fisicoquímica, del fluido de perforación con esta, se considera daño al yacimiento, por lo tanto las características fisicoquímicas del fluido de perforación deben ser compatibles con las exigencias del pozo.¹²

1.1.4. Propiedades de los fluidos de perforación.

¹³ Durante la perforación de un pozo, es de vital importancia mantener la calidad del fluido dentro de los valores deseables y preestablecidos para evitar los problemas de inestabilidad del pozo. Sin embargo, es necesario recordar que las propiedades de un fluido no son valores fijos, sino que pueden ser ajustados durante el proceso de la perforación.

De acuerdo con el Instituto Americano del Petróleo (API), las propiedades del fluido a mantener durante la perforación del pozo son físicas y químicas.

¹⁰M-I & SWACO. Drilling Fluids Engineering Manual [Manual de Ingeniería de fluidos de perforación].Capítulo 2, Funciones. Versión 2.0. Houston, Texas, 2001.

¹¹Ibid.

¹²Ibid.

¹³CENTRO INTERNACIONAL DE EDUCACIÓN Y DESARROLLO (CIED), ASOCIACIÓN CIVIL, FILIAL DE PETRÓLEOS DE VENEZUELA, S.A. Manual de fluidos de perforación. PDVSA. Primera versión, agosto, 2002

1.1.5. Propiedades físicas.

Densidad o peso: Es la propiedad del fluido que tiene por función principal mantener en sitio los fluidos de la formación. La densidad se expresa por lo general en *lb/gal*, y es uno de los dos factores, de los cuales depende la presión hidrostática ejercida por la columna de fluido. Durante la perforación de un pozo se trata de mantener una presión hidrostática ligeramente mayor a la presión de la formación, para evitar en lo posible una arremetida, lo cual dependerá de las características de la formación.

Viscosidad API: Es determinada con el Embudo Marsh, y sirve para comparar la fluidez de un líquido con la del agua. A la viscosidad embudo se le concede cierta importancia práctica aunque carece de base científica, y el único beneficio que aparentemente tiene, es el de suspender el ripio de formación en el espacio anular, cuando el flujo es laminar. Por esta razón, generalmente no se toma en consideración para el análisis riguroso de la tixotropía del fluido. Es recomendable evitar las altas viscosidades y perforar con la viscosidad embudo más baja posible, siempre y cuando, se tengan valores aceptables de fuerzas de gelatinización y un control sobre el filtrado. Un fluido contaminado exhibe alta viscosidad embudo.

Viscosidad plástica: la viscosidad que resulta de la fricción mecánica entre:

- Sólidos.
- Sólidos y líquidos.
- Líquido y líquidos

Esta viscosidad depende de la concentración, tamaño y forma de los sólidos presentes en el fluido, y se controla con equipos mecánicos de Control de Sólidos. Este control es indispensable para mejorar el comportamiento reológico y sobre todo para obtener altas tasas de penetración (ROP). Una baja viscosidad plástica aunada a un alto punto cedente permite una limpieza efectiva del pozo con alta tasa de penetración.

Punto cedente: Es una medida de la fuerza de atracción entre las partículas, bajo condiciones dinámicas o de flujo. Es la fuerza que ayuda a mantener el fluido una vez que entra en movimiento. El punto cedente está relacionado con la capacidad de limpieza del fluido en condiciones dinámicas, y generalmente sufre incremento por la acción de los contaminantes solubles como el carbonato, calcio, y por los sólidos reactivos de formación. Un fluido floculado exhibe altos valores de punto cedente. La floculación se controla de acuerdo al causante que lo origina. Se usan adelgazantes químicos cuando es causada por excesos de sólidos arcillosos y agua cuando el fluido se deshidrata por altas temperaturas.

Resistencia o fuerza de gel: Esta resistencia o fuerza de gel es una medida de la atracción física y electroquímica bajo condiciones estáticas. Está relacionada con la capacidad de suspensión del fluido y se controla, en la misma forma, como se controla el punto cedente, puesto que la origina el mismo tipo de sólido (reactivo). Las mediciones comunes de esta propiedad se toman a los diez segundos y a los diez minutos, pero pueden ser medidas para cualquier espacio de tiempo deseado. Esta fuerza debe ser lo suficientemente baja para:

- Permitir el asentamiento de los sólidos en los tanques de superficie, principalmente en la trampa de arena.

- Permitir buen rendimiento de las bombas y una adecuada velocidad de circulación
- Minimizar el efecto de succión cuando se saca la tubería.
- Permitir el desprendimiento del gas incorporado al fluido, para facilitar el funcionamiento del desgasificador.

Filtrado API y prueba HP-HT: El filtrado indica la cantidad relativa de líquido que se filtra a través del revoque hacia las formaciones permeables, cuando el fluido es sometido a una presión diferencial. Esta característica es afectada por los siguientes factores:

- Presión
- Dispersión.
- Temperatura.
- Tiempo.

Se mide en condiciones estáticas, a baja temperatura y presión para los fluidos base agua y a alta presión (HP) y alta temperatura (HT) para los fluidos base aceite. Su control depende del tipo de formación. En formaciones permeables no productoras se controla desarrollando un revoque de calidad, lo cual es posible, si se tiene alta concentración y dispersión de sólidos arcillosos que son los verdaderos aditivos de control de filtración. Por ello, es una práctica efectiva usar bentonita pre hidratada para controlar el filtrado API.

pH: El pH indica si el lodo es ácido o básico. La mayoría de los fluidos base acuosa son alcalinos y trabajan con un rango de pH entre 7.5 a 11.5. Cuando el pH varía de 7.5 a 9.5, el fluido es de bajo pH y cuando varía de 9.5 a 11.5, es de alto pH.

Porcentaje de arena: La arena es un sólido no reactivo indeseable de baja gravedad específica. El porcentaje de arena durante la perforación de un pozo debe mantenerse en el mínimo posible para evitar daños a los equipos de perforación. La arena es completamente abrasiva y causa daño considerable a las camisas de las bombas de lodo.

Porcentaje de sólidos y líquidos: El porcentaje de sólidos y líquidos se determina con una prueba de retorta. Los resultados obtenidos permiten conocer a través de un análisis de sólidos, el porcentaje de sólidos de alta y baja gravedad específica. En los fluidos base agua, se pueden conocer los porcentajes de bentonita, arcilla de formación y sólidos no reactivos de formación, pero en los fluidos base aceite, no es posible conocer este tipo de información, porque resulta imposible hacerles una prueba de MBT.

1.1.6. Propiedades químicas.

Dureza: Es causada por la cantidad de sales de calcio y magnesio disueltas en el agua o en el filtrado del lodo. El calcio por lo general, es un contaminante de los fluidos base de agua.

Cloruros: Es la cantidad de iones de cloro presentes en el filtrado del lodo. Una alta concentración de cloruros causa efectos adversos en un fluido base de agua.

Alcalinidad: La alcalinidad de una solución se puede definir como la concentración de iones solubles en agua que pueden neutralizar ácidos. Con los datos obtenidos de la prueba de alcalinidad se pueden estimar la concentración de iones OH^- , CO_3^{2-} y HCO_3^- presentes en el fluido.

MBT (Methylene Blue Test): Es una medida de la concentración total de sólidos arcillosos que contiene el fluido.

1.2 EQUIPOS Y PROCEDIMIENTOS DE ANÁLISIS DE FLUIDO DE PERFORACIÓN

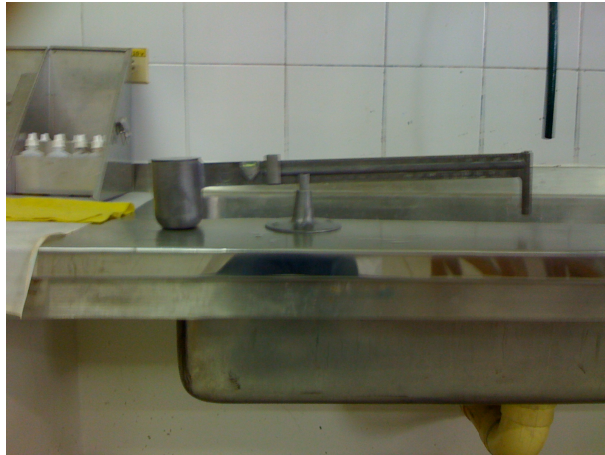
¹⁴ El API (American Petroleum Institute) en su publicación titulada “ Recommended Practice Standard Procedure for Field Testing Water-Based (Oil-Based) Drilling Fluids” recomienda procedimientos estándar para pruebas de campo y laboratorio de fluidos de perforación, en este capítulo nos centraremos solo en las pruebas para lodos base agua utilizadas en este proyecto de investigación.

1.2.1. Densidad del fluido.

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, caballero y contrapeso, se coloca el vaso de volumen constante en el extremo del vaso graduado, el cual tiene un contrapeso en el otro extremo, el vaso y el brazo

¹⁴M-I & SWACO. Drilling Fluids Engineering Manual [Manual de Ingeniería de fluidos de perforación].Capítulo 3, Pruebas. Versión 2.0. Houston, Texas, 2001.

Figura 1.1. Balanza de lodos



Fuente: Los Autores

oscilan perpendicularmente el cuchillo horizontal, el cual descansa sobre el soporte, y son equilibrados desplazando el caballero a lo largo del brazo.

Calibración:

- Retirar la tapa del vaso y llenar completamente el vaso con agua pura o destilada.
- Volver a colocar la tapa y secar con un trapo.
- Colocar de nuevo el brazo de la balanza sobre la base, con el cuchillo descansando sobre el punto de apoyo.
- La burbuja de nivel debería estar centrada cuando el caballero esta en $8,33lb/gal$. Si no, ajustar usando el tornillo de calibración en el extremo del brazo de la balanza. Algunas balanzas no tienen tornillo de calibración y se requiere añadir o remover granallas de plomo a través de la tapa de calibración.

Procedimiento:

- Quitar la tapa del vaso y llenar completamente el vaso con el lodo a probar.
- Volver a poner la tapa y girar hasta que esta firmemente asentada, asegurándose que parte del lodo sea expulsado a través del agujero de la tapa.
- Limpiar el lodo que esta fuera del vaso y secar el vaso.
- Colocar el brazo de la balanza sobre la base, con el cuchillo descansando sobre el punto de apoyo.
- Desplazar el caballero hasta que el nivel de burbuja indique que el brazo graduado esta nivelado.
- En el borde de caballo más cercano, leer la densidad o peso del lodo.
- Ajustar el resultado a la graduación de escala más próxima.

1.2.2. Concentración iónica de Hidrogeno pH.

La medición en el campo del pH del fluido de perforación, y los ajustes del pH son operaciones críticas para el control de fluidos de perforación. Las interacciones de la arcilla, la solubilidad de distintos componentes y la eficacia de los aditivos dependen del pH, al igual que el control de los procesos de corrosión causadas por el ácido y el sulfuro. Para medir el pH del fluido de perforación, se recomienda el método que emplea el medidor electrónico de pH con electrodo de vidrio. Este medidor es preciso y proporciona valores de pH confiables, visto que esta esencialmente libre de interferencias. Las medidas se pueden tomar rápida y fácilmente, ajustando automáticamente la pendiente y la compensación termostática.

Figura 1.2. Medidor electrónico de pH



Fuente: Los Autores

Procedimiento:

- Obtener la muestra de fluido a probar.
- Dejar que las soluciones amortiguadoras alcancen la misma temperatura que el fluido a probar. Para obtener una medida precisa del pH del fluido de la prueba, la solución amortiguadora y el electrodo de referencia deben estar a la misma temperatura. El pH de la solución amortiguadora indicado en la etiqueta del recipiente solo es para $75^{\circ}F$. Para calibrar a otra temperatura, se debe usar el pH efectivo de la solución amortiguadora a esa temperatura.
- Limpiar los electrodos (lavarlos con agua destilada y secar).
- Colocar la sonda dentro de la solución amortiguadora de pH 7,0.
- Activar el medidor y esperar 60 segundos para que la indicación se estabilice. Si la indicación del medidor no se estabiliza, consultar los procedimientos de limpieza.
- Medir la temperatura de la solución amortiguadora de pH 7,0.

- Fijar esta temperatura sobre el botón de temperatura.
- Fijar la indicación del medidor a 7,0, usando el botón de calibración.
- Enjuagar y secar la sonda.
- Repetir las etapas 6 a 9 usando una solución amortiguadora de pH 4,0 o 10,0. Usar la solución de pH 4,0 para la muestra de bajo pH, o la solución de pH 10,0 para la muestra alcalina. Ajustar el medidor a 4,0 o 10,0 respectivamente, usando el botón de temperatura.
- Controlar de nuevo el medidor con la solución amortiguadora de pH 7,0. Si la indicación a cambiado, fijar de nuevo a 7,0 con el botón de calibración. Repetir las etapas 6 a 11. Si el medidor no se calibra correctamente, reacondicionar o reemplazar los electrodos de la manera indicada en los procedimientos de limpieza.
- Si el medidor calibra correctamente, enjuagar y secar los electrodos. Colocar la muestra a probar. Esperar unos 60 segundos para que la indicación estabilice.
- Registrar el pH medido, junto con la temperatura de la muestra probada.
- Limpiar minuciosamente los electrodos, preparándolos para el próximo uso. Colocar dentro de una botella de almacenamiento, con el electrodo a través del tapón. Usar una solución amortiguadora de pH 7,0 para almacenar el electrodo. Si se almacena el medidor sin usar mucho tiempo, quitarle las pilas.
- Desactivar el medidor y cerrar la tapa para proteger el instrumento.

1.2.3. Viscosidad.

El viscosímetro rotacional puede indicar la viscosidad aparente, la viscosidad plástica, el punto cedente y los esfuerzos de gel.

Figura 1.3. Viscosímetro rotacional



Fuente: Los Autores

Los viscosímetros de indicación directa son instrumento de tipo rotativo accionados por un motor eléctrico o una manivela. El fluido de perforación esta contenido dentro del espacio anular entre dos cilindros concéntricos. El cilindro exterior o manguito de rotor es accionado a una velocidad rotacional constante. La rotación del manguito de rotor en el fluido impone un torque sobre el balancín o cilindro interior. Un resorte de torsión limita el movimiento del balancín y su desplazamiento es indicado por un cuadrante acoplado al balancín. Las constantes del instrumento han sido ajustadas de manera que pueda obtener la viscosidad plástica, y el punto cedente usando las indicaciones derivadas de las velocidades del manguito de rotor de 600 y 300 RPM.

Procedimiento para la determinación de la viscosidad aparente, la viscosidad plástica y el punto cedente:

- Colocar la muestra recién agitada dentro de un vaso térmico y ajustar la superficie del lodo al nivel de la línea trazada en el manguito del rotor.
- Calentar o enfriar la muestra hasta $120^{\circ}F$. Agitar lentamente mientras se ajusta la temperatura.

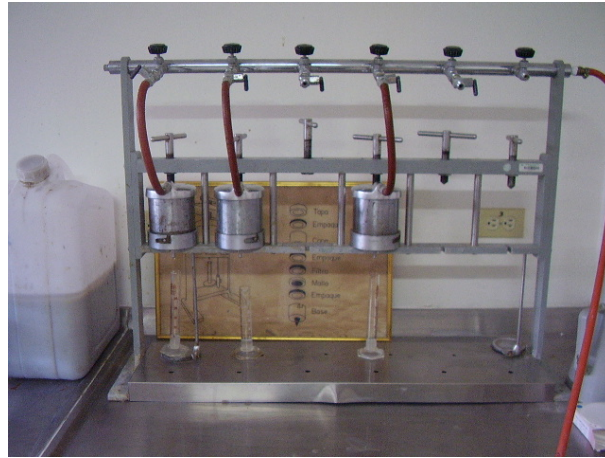
- Arrancar el motor colocando el conmutador en la posición de alta velocidad, con la palanca de cambio de velocidad en la posición más baja. Esperar que el cuadrante indique un valor constante y registrar la indicación obtenida a 600 RPM. Cambiar las velocidades solamente cuando el motor está en marcha.
- Ajustare el conmutador a la velocidad de 300 RPM. Esperar que el cuadrante indique un valor constante y registrar el valor indicado para 300 RPM.
- La Viscosidad Plástica, en *cp.*, es igual a la indicación de 600 RPM menos la indicación de 300 RPM.
- El Punto Cedente, en $lb/100ft^2$, es igual a la indicación de 300 RPM menos la viscosidad plástica en *cp.*
- La Viscosidad Aparente, en *cp.*, es igual a la indicación a 600 RPM dividida entre dos.

Procedimiento para la determinación del esfuerzo de gel:

- Agitar la muestra durante aproximadamente 15 segundos y levantar lentamente el mecanismo de cambio de velocidad hasta la posición neutra.
- Apagar el motor y esperar 10 segundos.
- Poner el conmutador en la posición de baja velocidad y registrar las unidades de deflexión máxima en $lb/100ft^2$ como esfuerzo de gel inicial. Si el indicador del cuadrante no vuelve a ponerse en cero con el motor apagado, no se debe re posicionar el conmutador.
- Repetir la etapas 1 y 2, pero dejar un tiempo de 10 minutos y luego poner el conmutador en la posición de baja velocidad y registrar las unidades de deflexión máxima como esfuerzo de gel a 10 minutos.

1.2.4. Filtrado API.

Figura 1.4. Filtro de prensa API.



Fuente: Los Autores

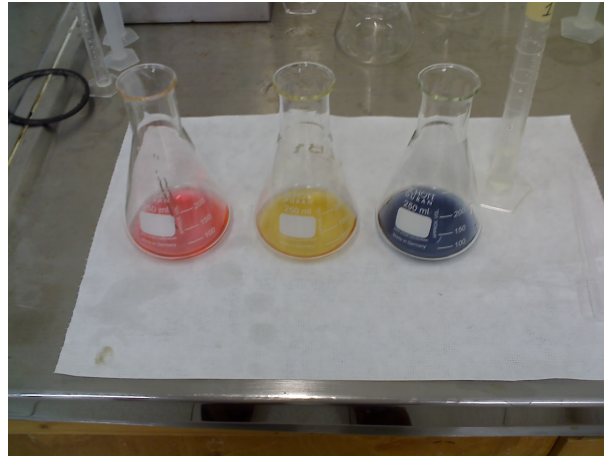
Las propiedades de filtración o formación de paredes de un lodo es determinada con un filtro prensa. La prueba consiste en determinar la velocidad a la cual se fuerza un fluido a través de papel filtro. La prueba es realizada bajo condiciones de tiempo, temperatura y presión. El filtro preso consta de una celda de lodo, un regulador de presión y un medidor montado encima de la caja de transporte o en la parte superior de la unidad de laboratorio móvil. Se usa un adaptador de acoplamiento para conectar la celda al regulador, simplemente introduciendo el empalme macho dentro de la celda dentro del empalme hembra del filtro prensa y dando un cuarto de vuelta en sentido horario. Algunas celdas no tiene este dispositivo de cierre y son simplemente introducidas dentro del acoplamiento apropiado. La celda de cierre en la parte inferior provista de una tela metálica, colocando la tapa firmemente contra el papel filtro y haciendo girar hacia la derecha hasta que quede apretada a mano. Esto empuja la hoja de papel filtro contra junta teórica que fue previamente introducida en la base de la celda.

Procedimiento para realizar la prueba de filtrado API:

- Mantener disponible una presión de 100 *psi*.
- Retirar la tapa de la parte inferior de la celda limpia y seca. Colocar la junta teórica en una ranura en buen estado y volver la celda al revés para llenarla.
- Llenar la celda con lodo hasta $(1/4)''$ de la ranura de la junta teórica. Colocar el papel filtro encima de junta teórica. Colocar la tapa encima del papel filtro con las bridas de la tapa entre las bridas de la celda, y girar en sentido horario hasta que quede apretadas a mano. Invertir la celda, introducir el empalme macho de la celda dentro del empalme hembra del filtro prensa y girar en cualquier sentido para bloquear.
- Colocar un cilindro graduado debajo del orificio de descarga de filtrado para recibir el filtrado.
- Abrir la válvula de entrada aplicando presión sobre la celda.
- La prueba API dura normalmente 30 minutos. Al termino de la prueba, cerrar la válvula, después de desconectar la fuente de presión, la presión se purga automáticamente. Retirar la celda.
- Registrar el filtrado en mililitros, a menos que se especifique de otra manera.
- 8. Desmontar la celda, desechar el lodo y recuperar el papel filtro con mucho cuidado para perturbar lo menos posible el revoque. Lavar el revoque minuciosamente para eliminar el exceso de lodo. Medir el espesor del revoque y registrar la medida en $(1/32)''$.

1.2.5. Análisis químico de los fluidos de perforación base Agua.

Figura 1.5. Pruebas químicas.



Fuente: Los Autores

Procedimiento para determinar la alcalinidad del filtrado (Pf y Mf):

- Medir 1 mL del filtrado dentro del recipiente de valoración y añadir 25 *mL* de agua des ionizada.
- Añadir 2 o más gotas de indicador de fenolftaleína. Si la solución se vuelve rosa.
- Añadir ácido 0,02 N gota a gota de la pipeta, agitando hasta que el color rosa desaparezca. Si la muestra esta tan coloreada que no se puede observar el cambio de color de indicador, el punto final será tomado cuando el pH caiga a 8,3, según sea medido con el pH de electrodo de vidrio.
- Indicar la alcalinidad de fenolftaleína del filtrado, Pf, como los mililitros de acido 0,02N requeridos por mililitro de filtrado para lograr el punto final.

$$P_f = \frac{mL \text{ de Acido}}{mL \text{ de filtrado}} \quad (1)$$

- Añadir 3 a 4 gotas de indicador de anaranjado de metilnaranja a la misma muestra que fue utilizada para medir Pf.
- Valorar con acido 0,02N hasta que el color se torne rosado salmón.
- El Mf se indica como el volumen total en mililitros de ácido utilizado para Pf mas esta última valoración, por mililitro de filtrado.

$$M_f = \frac{mL \text{ de Acido}}{mL \text{ de filtrado}} \quad (2)$$

Procedimiento para determinar el contenido de Cl^- : La prueba de sal, o cloruros, es muy importante en las áreas donde la sal puede contaminar el fluido de perforación. Esto incluye la mayoría de los campos de petróleos del mundo. La sal puede provenir del agua de preparación, sacos, capas discontinuas, estratos o corrientes de agua salada.

Procedimiento:

- Medir 1 o 2 *mL* de filtrado dentro de un recipiente para la valoración.
- Añadir la cantidad de ácido requerida para la valoración de Pf.
- Añadir 25 *mL* de agua destilada y 4 gotas de cromato de potasio. Agitar continuamente y valorar con la solución de nitrato de plata, gota a gota, hasta

que la solución pase de amarillo a rojo anaranjado y permanezca de este color durante 30 segundos.

- Registrar el volumen de nitrato de plata, en mililitros, requeridos para lograr el punto final. (Si se utiliza más de 10 *mL* de solución de nitrato de plata 0,282N, considere repetir la prueba con una muestra más pequeña.)

Cálculos: Si la concentración iónica de cloruro del filtrado es inferior a 10000 *ppm* utilizar una solución de nitrato de plata 0,282N equivalente a 0,001g de ion Cl^- por *mL*.

Indicar la concentración iónica de cloruro de filtrado en miligramos por litro, calculada de la siguiente manera:

$$Cl^- = \frac{mL \text{ de nitrato de plata} * 1000}{mL \text{ de filtrado}} \quad (3)$$

Si la concentración iónica de cloruro del filtrado es mayor a 10000*ppm* utilizar una solución de nitrato de plata 0,282N equivalente a 0,01g de ion Cl^- por *mL*. Indicar la concentración iónica de cloruro de filtrado en miligramos por litro, calculada de la siguiente manera:

$$Cl^- = \frac{mL \text{ de nitrato de plata} * 10000}{mL \text{ de filtrado}} \quad (4)$$

Procedimiento para determinar la dureza total del filtrado: El agua contiene una gran cantidad de sales disueltas de calcio de magnesio se llama “agua dura”. La dureza del agua en el hogar suele ser indicada por lo difícil que resulta

hacer espuma con el jabón. En muchos campos de petróleo, el agua disponible es bastante dura. Las arcillas de perforación tienen bajos puntos cedentes cuando son mezcladas con agua dura. Cuando más dura sea el agua más bentonita será necesaria para obtener un lodo con un esfuerzo de gel satisfactorio. En casos extremos, se ha determinado que es económico tratar químicamente antes de usarla para mezclar el lodo, pero en general esto no resulta económico. Los ingenieros de campo están familiarizados con los efectos sobre el lodo cuando se perforan formaciones de anhidrita o de yeso. El calcio puede ser arrastrado durante la perforación de los taponos de cemento y a veces al penetrar en las secciones de lutitas caliza. Cualquier contaminación extensa de calcio puede producir grandes pérdidas de agua y altos geles, es por esto que es necesario conocer la dureza del filtrado para tomar acciones correctivas para prevenir problemas durante la perforación.

Procedimiento:

- Añadir aproximadamente 25 *mL* de agua destilada al recipiente de valoración.
- Añadir un *mL* de filtrado a probar.
- Añadir 10 gotas de solución amortiguadora.
- Añadir 10 gotas de versenato indicador, si la muestra presenta un color violeta, siga al paso sexto, de lo contrario, se determina que Ca^{2+} es cero.
- Valorar con versenato titulador gota a gota, hasta que la solución torne a un color azul.
- Se determina que Ca^{2+} es igual a los *mL* de versenato titulador necesarios para valorar la solución por el volumen de filtrado en *mL*.

$$Ca^{2+} = \frac{mL \text{ de versenato titulador}}{mL \text{ del filtrado}} \quad (5)$$

1.3 QUÍMICA BÁSICA DE LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN

A continuación se describirá la composición o fases de los fluidos de perforación, así como también la química de las arcillas, que con frecuencia se utilizan para incrementar la capacidad de limpieza y suspensión, y el control del filtrado o pase de la fase líquida hacia la Formación.

1.3.1. Composición de los fluidos.

¹⁵ La composición de los fluidos dependerá de las exigencias de cada operación de perforación en particular, esto quiere decir, que es necesario realizar mejoras a los fluidos requeridos, para enfrentar las condiciones que se encuentran a medida que avance la perforación.

El fluido de perforación o lodo, puede ser cualquier sustancia o mezcla de sustancias con características físicas y químicas apropiadas; como ejemplo: aire o gas, agua, petróleo o combinación de agua y aceite con determinado porcentaje de sólidos. La composición de un fluido depende de las exigencias de cada operación de perforación en particular. La perforación debe hacerse atravesando diferentes tipos de formaciones, que a la vez, pueden requerir diferentes tipos de fluidos. Por consiguiente, es lógico que varias mejoras sean necesarias efectuarle al fluido

¹⁵M-I & SWACO. Drilling Fluids Engineering Manual [Manual de Ingeniería de fluidos de perforación]. Versión 2.0. Houston, Texas, 2001

para enfrentar las distintas condiciones que se encuentran a medida que avanza la perforación. El fluido debe ser:

- Inerte a las contaminaciones.
- Estable a altas temperaturas.
- Inmune al desarrollo de bacterias

En general, los fluidos no necesitan ser complicados o difíciles de preparar y prueba de ello, es que para algunas operaciones de perforación, un agua sucia puede dar buenos resultados. En algunas áreas se puede iniciar la perforación con agua y arcillas de formación, creando así un fluido de iniciación CBM razonablemente bueno. En otras áreas pueden encontrarse formaciones como calizas, arenas o gravas que no forman fluido. En tales casos será necesario agregar arcillas comerciales para suspender la barita, aumentar la capacidad de acarreo y controlar la pérdida de agua.

El fluido de perforación no debe ser tóxico, corrosivo, ni inflamable para evitar daños a la salud y al medio ambiente.

1.3.2. Química del agua.

El agua es un fluido newtoniano, que constituye la fase continua de los fluidos de base acuosa. El agua utilizada en la perforación y mantenimiento de los fluidos de base acuosa puede ser: dulce o salada.

Agua dulce: El agua es ideal para perforar zonas de bajas presiones, es económica, abundante, no requiere tratamiento químico y provee el mejor líquido en el uso de los métodos de evaluación de formaciones. El agua dispersa sólidos,

facilitando su remoción a través de los equipos mecánicos de control de sólidos. Cuando contiene calcio o magnesio, se le conoce con el nombre de agua dura. Estos iones disminuyen el rendimiento de las arcillas y alteran el comportamiento reológico del fluido. Por tal razón, es conveniente determinar la dureza del agua antes de iniciar la preparación del fluido y proceder, en caso necesario, a pre tratarla con Soda Ash para precipitar esos contaminantes.

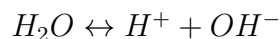
Propiedades del agua dulce:

- Densidad: 8.33 lb/gal ; 62.4 lb/ft^3 ; 350 lb/BB
- Gradiente: 0.433 psi/ft a $70^\circ F$
- Viscosidad Embudo: 26 s/(1/4)gal .
- Viscosidad Plástica: 1 cp .
- Punto Cedente: 0
- pH: 7
- Peso Molecular: 18
- Índice de Comportamiento de Flujo: 1.0

Agua salada: La sal es una sustancia que da aniones distintos al ión OH^- y cationes distintos al ión H^+ . Al mezclar sal con agua se obtiene una salmuera, utilizada con mucha frecuencia como fluido de completamiento y rehabilitación de pozos, por ser un sistema libre de sólidos que causa mínimo daño a la formación. El agua salobre contiene sales solubles en concentraciones relativamente bajas, pero puede ser saturada agregándole más sal. El agua saturada contiene alrededor de 268000 ppm de cloruro de sodio ($NaCl$) y pesa aproximadamente 10 lb/gal . Se

requiere $\pm 109 \text{ lb/BB}$ de sal, para saturar el agua dulce. Generalmente, se usan fluidos parcialmente saturados de sal, cuando se perforan costa fuera debido a la abundancia de agua salada. El agua de mar contiene aproximadamente 19000 mg/L de Cl , 400 mg/L de Ca y 1300 mg/L de Mg . Es aconsejable el uso de fluido saturado de sal, cuando se estén penetrando secciones salinas o cuando se requiere mantener el ensanchamiento del pozo al mínimo. En ocasiones, se agrega sal al fluido para tratar de controlar la resistividad y obtener mejor interpretación de los registros eléctricos.

Ionización: Es un proceso mediante el cual una molécula se subdivide en iones con cargas positivas (cationes) y negativas (aniones). En el proceso de ionización del agua se tiene:



pH: El pH de un fluido, indica el grado de acidez o alcalinidad relativa del fluido. El agua destilada es neutra, esto significa que no tiene ni acidez, ni es alcalina. En la escala de pH este punto está indicado por el número 7. La escala de pH es logarítmica, donde:

- El punto cero (0) de la escala está indicado por algún ácido fuerte, tal como el sulfúrico a concentración normal.
- El tope de la escala es 14 y representa la alcalinidad de un alcalino muy fuerte, como la soda cáustica a concentración normal.
- Cada número por encima de 7, indica una alcalinidad 10 veces mayor que el número precedente. Por ejemplo un pH de 9, indica una alcalinidad 10 veces mayor que un pH de 8 y 100 veces mayor que un pH de 7.

Alcalinidad: La alcalinidad de una solución, se puede definir como la concentración de iones solubles en agua que pueden neutralizar ácido. La alcalinidad está relacionada con la concentración de iones OH^- , CO_3^{2-} y HCO_3^- presente en el fluido.

Diferencia entre pH y alcalinidad: Es importante saber que pH y alcalinidad no es lo mismo, a pesar de estar estrechamente relacionados; el pH indica, qué tan ácido o básico es un fluido y la alcalinidad determina, el ión o los iones responsables de esa acidez o basicidad.

Tabla 1.1. Correlación entre pH y alcalinidad.

pH	0,8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13
Pf	Trazas	0,1	0,25	0,3	0,5	0,7	0,8	1	3	5	7

Fuente: CIED

1.3.3. Solución amortiguada.

Se dice que una solución está amortiguada, cuando hay un consumo extra de ácido sulfúrico al titular dicha solución. Los iones oxidrilos no disueltos en el fluido, constituyen otro agente amortiguador (Buffer).

Solución Buffer: Es una sustancia que al disolverse en el agua, produce una solución resistente a los cambios en su concentración de iones hidrógeno, la cual permite que el pH se mantenga prácticamente constante, al agregar un ácido o una base.

1.3.4. Alcalinidad del filtrado (Pf y Mf).

Pf: Son los cm³ de ácido sulfúrico N/50, que se requieren por cm³ de filtrado, para llevar el pH del fluido a 8.3. El Indicador sirve para determinar la alcalinidad del filtrado Pf, se utiliza como indicador la fenolftaleína.

Mf: Son los cm³ de ácido sulfúrico N/50, que se requieren por cm³ de filtrado, para llevar el pH del fluido a 4.3 .Indicador sirve para determinar la alcalinidad del filtrado Mf, se utiliza como indicador el anaranjado de metilo. Muchas veces resulta imposible observar el cambio de color cuando se agrega la solución indicadora, principalmente, cuando se tienen filtrados muy oscuros como consecuencia de un sobre tratamiento con lignosulfonato o lignito. En este caso, se recomienda usa un pH metro para determinar el Pf y el Mf.

1.3.5. Determinación de la alcalinidad del filtrado (Pf/Mf).

La cantidad de ácido sulfúrico utilizada para determinar el Pf, es la requerida para convertir los carbonatos (CO_3^{-2}) a bicarbonatos (HCO_3^-), y la empleada para titular del Pf al Mf, es la necesaria para convertir los bicarbonatos (HCO_3^-) a dióxido de carbono (CO_2).

La alcalinidad se determina con base a los valores de Pf y Mf, ya que es posible conocer cualitativamente, cuál ión o iones están originando la alcalinidad del fluido. Los iones CO_3^{-2} y HCO_3^- son contaminantes y afectan significativamente las propiedades del fluido. Una separación notable en el Pf y el Mf confirma la presencia de estos iones. Por lo general, los iones CO_3^{-2} predominan cuando el Pf, es aproximadamente la mitad del Mf y el pH del lodo es igual o mayor a 10.3, mientras que los iones HCO_3^- están presentes en un fluido que tenga un pH menor de 10.3 y un Mf alto. En resumen, el Pf está relacionado con los carbonatos (CO_3^{-2}) y el

Mf con los bicarbonatos (HCO_3^-). La concentración de un contaminante se puede expresar en parte por millón (*ppm*) o equivalentes por millón (EPM). Para expresar la concentración en EPM es necesario conocer la concentración del contaminante en *ppm* y su peso equivalente (PE). Es decir:

$$EPM = \frac{ppm}{PE} \quad (6)$$

El peso equivalente de un elemento o de un ion es:

$$PE = \frac{\textit{peso atómico}}{\textit{carga de ion}} \quad (7)$$

Y el peso equivalente de un compuesto es:

$$PE = \frac{\textit{peso molecular}}{\textit{carga total de cationes}} \quad (8)$$

Tabla 1.2. Propiedades básicas de los contaminantes de los fluidos de perforación.

Elemento	Símbolo	Peso atómico	Valencia
Calcio	Ca	40,1	+2
Carbono	C	12	+4
Cloruro	Cl	35,5	-1
Hidrogeno	H	1	+1
Oxígeno	O	16	-2
Potasio	K	39,1	+1
Sodio	Na	23	+1
Sulfuro	S	32,1	-2

Fuente: CIED

La siguiente tabla sirve de guía para conocer las libras por barril del tratante que reacciona con un EPM del contaminante:

Tabla 1.3. Cantidad de libras por barril del tratante que reacciona con un EPM del contaminante

Compuesto	Fórmula química	lb/BB para reaccionar con EPM
Cal	$Ca(OH)_2$	0,01295
Yeso	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	0,03010
Soda Ash	Na_2CO_3	0,01855
Bicarbonato de Sodio	$NaHCO_3$	0,02940

Fuente: CIED

1.3.6. Alcalinidad del lodo (Pm).

Es la alcalinidad del lodo determinada con fenolftaleína. Está relacionada con la concentración total de iones OH^- presentes en el fluido (fase líquida y sólida). Con los valores de la alcalinidad del filtrado (Pf) y del lodo (Pm), se puede determinar el exceso de cal que contiene un fluido. En las emulsiones inversas y en los fluidos cien por ciento aceite, el exceso de cal es utilizado como secuestrador de gases ácidos (H_2S/CO_2). Estos gases son altamente corrosivos en cualquier tipo de fluido. La alcalinidad del lodo influye notablemente en el comportamiento de las arcillas. A bajos valores de pH, los bordes rotos de las partículas arcillosas tienen más cargas positivas que negativas, lo contrario sucede cuando se tiene altos valores de pH. Por ello es muy importante mantener un pH por encima de 7, para asegurar

que las partículas de arcilla se encuentren cargadas negativamente. De esta forma se mantiene la interacción electrostática a un mínimo. Un pH menor a 7, va a incrementar la asociación cara-borde.

1.4 DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA DE LAS ARCILLAS

En este tema se describe el rendimiento y los mecanismos de hidratación y dispersión de los diferentes tipos de arcillas, utilizadas por la industria petrolera en las operaciones de perforación, para incrementar la capacidad de limpieza, suspensión y control del filtrado en los fluidos base acuosa.

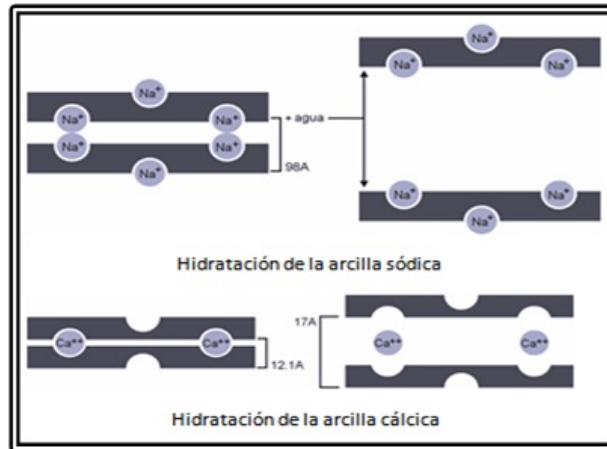
1.4.1. Las arcillas.

Las arcillas son silicatos de aluminio hidratado, que desarrollan plasticidad cuando se mojan. Las arcillas nativas o de formación son ligeramente hidratables y cuando se incorporan al fluido, contribuyen principalmente a la fracción inerte y muy poco a la fracción gelatinizante. Existen arcillas que tienen mayor capacidad de hidratación y dispersión por tener un ligamento más débil, como es el caso de las arcillas sódicas. Las arcillas cálcicas se hidratan, pero se dispersan ligeramente porque el calcio es bivalente, resultando un ligamento más fuerte que el sodio. En ambos casos el grado de dispersión o hinchamiento de las arcillas depende del área de su superficie por unidad de peso, por lo tanto, a mayor hidratación mayor dispersión y por lo tanto mayor rendimiento.

1.4.2. Hidratación.

Es el proceso mediante el cual una arcilla absorbe agua, permitiendo el desarrollo del punto cedente, y de la resistencia o fuerza de gel y el desarrollo de la viscosidad del fluido.

Figura 1.6. Hidratación de la arcilla sódica y la arcilla cálcica.



Fuente: CIED Modificada.

1.4.3. Agregación.

Condición normal de la arcilla antes de ser hidratada. Las partículas están agrupadas cara a cara y pueden ser separadas por agitación mecánica y por hidratación y dispersión.

1.4.4. Dispersión.

Separación de las partículas como consecuencia de la absorción o entrada de agua. Las caras cargadas de una forma negativa se atraen con los bordes de las cargas positivas.

1.4.5. Floculación.

Las arcillas influyen notablemente en la reología y en el filtrado de los fluidos, particularmente en los fluidos base agua. Las arcillas floculan con facilidad al contacto con cualquier contaminante, causando problemas operacionales como pega de tubería, disminución de la tasa de penetración. En estos casos, lo primero que se debe hacer es analizar el fluido y determinar las causas del problema para seleccionar el tratamiento adecuado y darle solución. Es un error tratar de solucionar un problema de floculación sin conocer el causante.

Originada por la atracción excesiva de cargas eléctricas. Las partículas se unen cara-arista y/o arista-arista. En el estado floculado se incrementa la asociación cara-borde entre las partículas y la consecuencia de este estado es una elevada viscosidad y un descontrol en la pérdida de agua, que por lo general es alta.

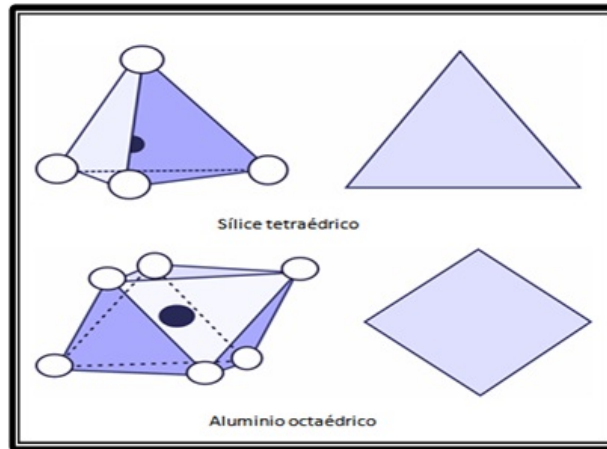
1.4.6. Desfloculación.

Separación de partículas por neutralización de las cargas eléctricas, originada por los lignosulfonatos y lignitos. Las partículas pueden separarse individualmente o en grupos de dos o tres unidades por caras.

1.4.7. Mineralogía de las arcillas.

Desde el punto mineralógico, las arcillas son silicatos de aluminio de dos, tres y cuatro capas, la sílice tiene estructura tetraédrica y el aluminio octaédrico.

Figura 1.7. Estructura de las arcillas.



Fuente: CIED Modificada

1.4.8. Clasificación de las arcillas.

Kaolinita (G.E. 2.63): Arcilla de dos capas (Sílice-Aluminio). Se usa en la alfarería para fabricar ladrillos. Se encuentra en lutitas duras y en lutitas "Gomosas". No es deseable como arcilla para preparar fluido de perforación.

Montmorillonita (G.E. 2.35): Arcilla de tres capas (Sílice-Aluminio-Sílice). Se usa en la preparación de los fluidos de perforación de base acuosa. Es un mineral que constituye la Bentonita.

Ilita (G.E. 2.84): Arcilla poco expandible de tres capas (Sílice-Aluminio-Sílice). Pertenece al grupo de minerales conocido como micas. Se encuentra en la mayoría de las lutitas duras y en algunas lutitas "Gomosas". No es deseable como arcilla para preparar fluidos de perforación.

Clorita (G.E. 2.71): Arcilla de cuatro capas (Aluminio-Sílice -Aluminio-Sílice). Se encuentra en lutitas ?Gomosasz en lutitas duras.

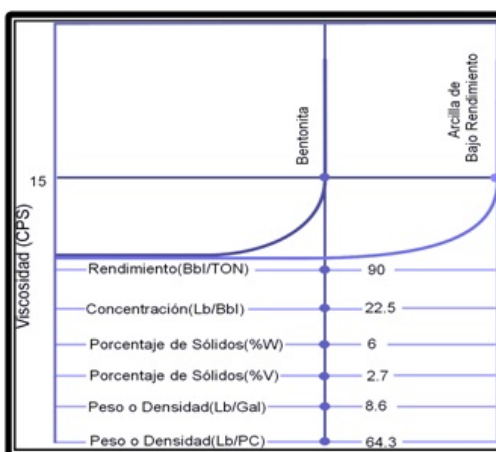
1.5 RENDIMIENTO DE LAS ARCILLAS

En la práctica, el rendimiento está definido como el número de barriles de fluido de 15 centipoises (*cp*) de viscosidad aparente, que se pueden preparar con una tonelada de arcilla. La viscosidad aparente Indica la máxima concentración de sólidos arcillosos que puede aceptar una mezcla agua/bentonita sin tratamiento químico, es decir, sin la necesidad de utilizar adelgazantes químicos.

1.5.1. Curva de rendimiento.

Si se representa gráficamente la viscosidad con respecto al porcentaje de sólidos, se obtendrá una curva de rendimiento que es característica de las arcillas. Esta curva indica la cantidad de sólidos que se pueden agregar al fluido manteniendo las condiciones de bombeo. La cantidad de sólido que se agrega va a depender de la capacidad de esos sólidos para absorber agua y del tamaño de las partículas. Si el material que se agrega es altamente coloidal, como la bentonita, el 6 % W de sólidos será el máximo que puede ser tolerado sin tratamiento químico y la densidad del fluido será aproximadamente 8.6 *lb/gal*. Se dice que esta arcilla tiene alto rendimiento. Si la concentración de sólidos arcillosos es baja, el rendimiento será bajo y del 25 % al 50 %, de sólidos puede ser tolerado, con un aumento correspondiente de la densidad de 9.8 a 12 *lb/gal*. En todos los casos la forma de esta curva es esencialmente la misma, no siendo el aumento de viscosidad directamente proporcional al contenido de sólidos. Los sólidos suspendidos tienen poco efecto sobre la viscosidad hasta un

Figura 1.8. Curva de rendimiento de la arcilla.



Fuente: CIED Modificada

punto crítico de aproximadamente 15 centipoises. En este punto crítico, el contenido de sólidos es descriptivo del tipo de arcilla en particular, y es indicativo de su contenido en material arcilloso. Por encima del punto crítico en la curva, se notará que el agregado de una pequeña cantidad de sólidos arcillosos tiene un efecto relativamente grande sobre la viscosidad. Una clara comprensión de las características que imparten las arcillas, como se indica en la gráfica de rendimiento, es sumamente importante para mantener la calidad del fluido. Esta gráfica o curva de rendimiento muestra la necesidad de mantener los equipos de control de sólidos funcionando con la máxima eficiencia.

Para reducir la viscosidad se agregan pequeñas cantidades de aditivos químicos que actúan como desfloculantes, al neutralizar las cargas de las partículas arcillosas.

El rendimiento de las arcillas depende de la calidad del agua. Si se usan aguas duras, mineralizadas, las arcillas rinden menos y su comportamiento es pobre, por consiguiente, la naturaleza del agua es importante y puede indicar la selección de la arcilla adecuada y el tratamiento químico correcto. Si el agua para preparar fluidos contiene más del 5 % de sal, las bentonitas comunes pierden su propiedad gelatini-

zante y se debe usar una bentonita especial para agua salada. Estas arcillas están compuestas principalmente por un mineral llamado Atapulguita. Su rendimiento, es decir, su desarrollo de viscosidad y gelatinización en agua salada es similar al de la bentonita en agua dulce.

2. FLUIDOS BASE AGUA

2.1 GENERALIDADES

Los fluidos de perforación se clasifican de respecto al fluido base en tres grupos. Fluidos base agua, fluido base aceite y fluidos neumáticos.

2.1.1. Lodos base agua.

Los fluidos base agua son aquellos cuya fase líquida o continua es agua. Estos sistemas son muy versátiles y se utilizan por lo general para perforar formaciones no reactivas, productoras o no productoras de hidrocarburos.¹⁶ Son los que tienen como fase continúa agua salada o dulce, en el cual algunos componentes se disuelven y otros quedan en suspensión. Comúnmente la fase dispersa es bentonita o atapulgita. Son los más usados en la industria por ser de menor costo y más sencillos de producir. Los lodos bases agua varían desde los lodos no tratados hasta los más intensamente tratados, como son los lodos inhibido que reducen o inhiben la interacción entre lodo y cierta formaciones perforadas.

¹⁶CENTRO INTERNACIONAL DE EDUCACIÓN Y DESARROLLO (CIED), ASOCIACIÓN CIVIL, FILIAL DE PETRÓLEOS DE VENEZUELA, S.A. Manual de fluidos de perforación. PDVSA. Primera versión, agosto, 2002.

2.1.2. Lodos base aceite.

Un fluido base aceite es una mezcla de dos fluidos inmiscibles, es decir, una emulsión líquida, donde sus dos componentes o fases no se mezclan bajo condiciones naturales y se identifican porque su fase continua es aceite y la fase dispersa pequeñas gotas de otro fluido.

Para obtener una mezcla estable, se requiere el uso de un emulsificante. Los tipos de emulsiones que se pueden formar son inversas o normales y depende específicamente de las características del emulsificante.

Lodos de emulsión normal: la fase dispersa es el aceite y la continua es el agua.

Lodos de emulsión inversa: En estos lodos la fase dispersa es el agua y la fase continua es el aceite.

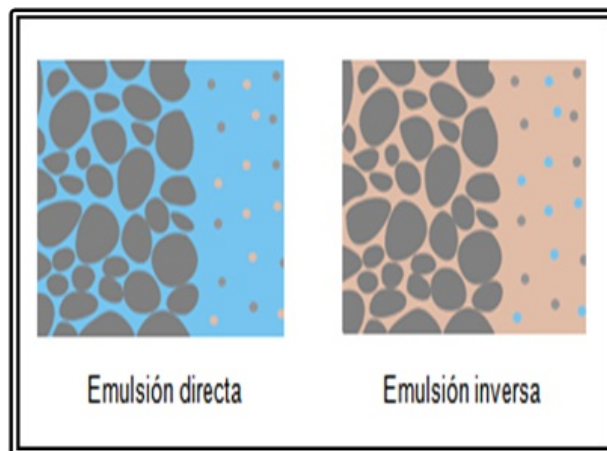
2.1.3. Lodos neumáticos.

La fase continua de esta clase de lodo es el aire u otro gas (mezcla de gases o gas seco). A este tipo de fluidos también se le conoce como Fluidos de perforación reductores de presión, debido a que su gradiente de presión es mucho menor que el de los lodos aceite y por consiguiente menor que el de los lodos base agua.

2.2 EMULSIÓN

¹⁷ Es una mezcla heterogénea de dos líquidos inmiscibles que requieren la adición de un agente emulsificante y suficiente agitación para mezclarse. Una emulsión puede ser directa o inversa.

Figura 2.1. Tipo de emulsiones base aceite.



Fuente: CIED Modificada

2.2.1. Emulsión directa.

Es aquella cuya fase externa o continua es agua y su fase interna o dispersa es aceite. En este tipo de emulsión el aceite se encuentra como gotas suspendidas en el agua.

¹⁷CENTRO INTERNACIONAL DE EDUCACIÓN Y DESARROLLO (CIED), ASOCIACIÓN CIVIL, FILIAL DE PETRÓLEOS DE VENEZUELA, S.A. Manual de fluidos de perforación. PDVSA. Primera versión, agosto, 2002.

2.2.2. Emulsión inversa.

En esta emulsión la fase externa es aceite y la fase interna es agua. En este caso el agua actúa como sólidos suspendidos en el aceite.

2.3 CLASIFICACIÓN DE FLUIDOS A BASE AGUA

¹⁸ Los fluidos de perforación de base acuosa se clasifican en dispersos y no dispersos, de acuerdo al efecto que tienen sobre los sólidos perforados y sobre las arcillas agregadas.

2.3.1. Fluidos no dispersos no inhibidos.

Los fluidos dispersos y los no dispersos pueden estar o no inhibidos. El término no inhibido se refiere a la ausencia total de iones inhibidores de lutitas, como: potasio, calcio o sodio.

En cambio un fluido tiene propiedades inhibitorias cuando contiene cationes o agentes encapsulantes en cantidades suficientes, por tal razón los fluidos inhibitorios de base acuosa reducen o inhiben la interacción entre el fluido y las arcillas de formación. Este tipo de fluido es utilizado para perforar formaciones reactivas o formaciones lutíticas sensibles al agua.

Estos fluidos no contienen adelgazantes químicos ni iones inhibidores de lutitas. En este caso, el volumen de los sólidos de baja gravedad es menor del 6 % en peso.

¹⁸CENTRO INTERNACIONAL DE EDUCACIÓN Y DESARROLLO (CIED), ASOCIACIÓN CIVIL, FILIAL DE PETRÓLEOS DE VENEZUELA, S.A. Manual de fluidos de perforación. PDVSA. Primera versión, agosto.

Dentro de esta clasificación se encuentran los siguientes tipos de fluidos:

- Nativo o de iniciación (CBM)
- Ligeramente tratado
- Bentonita/polímeros
- Bentonita extendida

Nativo o de iniciación (CBM): Son fluidos de iniciación que se formulan con agua y Bentonita; y por razones económicas es costumbre de campo reemplazar parte de la Bentonita por cal, lográndose de esta manera una lechada espesa de Bentonita y cal. Además durante la perforación se aprovechan las arcillas de la formación, las cuales ayudan a mejorar la capacidad de limpieza y suspensión del fluido.

Estos fluidos se utilizan principalmente para perforar el pozo somero. Durante esta etapa se genera una gran cantidad de sólidos no reactivos que contribuyen en parte a incrementar la densidad del fluido. Para mantener esta densidad en el valor requerido, es necesario que los equipos de control de sólidos funcionen con la máxima eficiencia desde el inicio de la perforación y también, es necesario mantener una alta dilución con agua. La capacidad de limpieza de este pozo se logra básicamente con altas velocidades anulares que se obtienen a máximas tasas de circulación.

Ligeramente tratado: Es un fluido de iniciación al cual se le agregan pequeñas cantidades de aditivos químicos para mejorar su calidad. Sin embargo, a medida que avanza la perforación aparecen formaciones dificultosas que requieren densidades mayores a $12(lb/gal)$, así como también contaminaciones severas y altas temperatura que limitan su uso.

Bentonita/ polímeros: Estos sistemas están formulados con polímeros y Bentonita y se caracterizan por contener un porcentaje de sólidos arcillosos no mayor del 6 % en peso, razón por la cual son conocidos como fluidos de bajo contenido de sólidos. Se utilizan por lo general para perforar formaciones de bajo contenido de arcilla. El polímero debe ser agregado muy lentamente para evitar la floculación. Estos fluidos se caracterizan por dar reología invertida, es decir, punto cedente mayor a la viscosidad plástica. Esta particularidad permite obtener altas tasas de penetración y alta capacidad de limpieza y suspensión. Entre las desventajas que ofrecen estos sistemas están:

- No controlan en forma efectiva la pérdida de agua, por no utilizar adelgazantes químicos y porque su contenido de sólidos coloidales es bajo.
- Atrapan aire fácilmente, por tener alto punto cedente.

Bentonita extendida: Estos sistemas son a base de Bentonita a los cuales se le agrega un extendedor, para incrementar su rendimiento y en consecuencia, lograr mayor capacidad de limpieza y suspensión. El extendedor enlaza entre sí las partículas hidratadas de Bentonita, formando cadenas y duplicando su rendimiento, originando un fluido con la viscosidad requerida a concentraciones relativamente bajas de sólidos. Estos sistemas, al igual que los sistemas a base de Polímeros-Bentonita, son de bajos contenidos de sólidos (6 %w), por tal motivo, es importante mantener un control efectivo de sólidos para evitar el incremento de la viscosidad y tener que utilizar adelgazantes químicos, lo que ocasionaría el cambio de un sistema no disperso a disperso.

2.3.2. Fluidos no dispersos inhibidos.

Estos fluidos no contienen adelgazantes químicos, pero si contienen iones inhibidores de lutitas, como: potasio (*K*), sodio (*Na*), calcio (*Ca*) o magnesio (*Mg*).

Ion potasio (K): Este ion es el que posee mayor capacidad inhibitoria por su baja energía de hidratación y por su reducido tamaño ($2,65^{\circ}A$), motivo por el cual, se utiliza en la mayoría de los fluidos base agua, para incrementar su capacidad inhibitoria. Este ion es efectivo tanto en el desplazamiento de cationes monovalentes (Sodio) como de cationes divalentes (Calcio), lo cual es de suma importancia porque la mayoría de las lutitas hidratables son montmorillitas sódicas. El ion potasio inhibe el hinchamiento de las arcillas a bajas concentraciones (3-5% en peso), sin embargo a concentraciones mayores (10% en peso) el hinchamiento comienza a aumentar, debido al incremento de la repulsión electrostática entre las capas de las arcillas por exceso de cationes. Estudios realizados han demostrado que la disminución de la hidratación y la dispersión de las arcillas resulta más efectiva cuando se mezcla potasio y polímeros no iónicos, que cuando se utiliza el ion solo. Como fuente primaria de potasio se utiliza básicamente el KCL.

Es posible que los inhibidores salinos como potasio, sodio, genere niveles no permisibles que conviertan al fluido en pasivo ambiental de costosa remediación, es decir, que el tratamiento de los rios durante el proceso de bio tratamiento podría resultar costoso. Tipos de fluidos no dispersos inhibidos. Como ejemplo de estos fluidos se tienen los siguientes:

- Agua salada
- MMH con KCL
- Poli glicoles con KCL
- Salinos

Fluidos de agua salada: Estos fluidos se preparan con agua parcialmente saturada, con concentración de sal superior a 10000 *ppm* y aditivos químicos que cumplen funciones específicas. Este tipo de fluido se caracteriza por dar alta viscosidad y alto filtrado y generalmente, se utiliza para perforar costa afuera, debido a la abundancia de agua salada. La capacidad de limpieza y suspensión de estos fluidos se logra con atapulgita, sobre todo cuando la concentración de sal supera las 35000 *ppm*, mientras que el filtrado se controla con almidón modificado. Estos sistemas trabajan con pH alto y requieren de adiciones mayores de soda cáustica, para mantenerlo en un rango de 11-11.5. Sin embargo, en algunas áreas no se controla el pH, sino que se deja a su evolución natural, obteniéndose valores aproximados entre 6 y 7.

Tabla 2.1. Composición típica del agua de mar (8.5lb/gal).

Componente	mg/L
Sodio	10.400
Potasio	375
Magnesio	1.270
Calcio	410
Cloruro	18.970
Sulfato	2.720
Dióxido de carbono	90

Fuente: CIED Modificada

MMH con KCL: Estos fluidos son complejos de aluminio metálicos (Aluminio y Magnesio), que contienen bajo porcentaje de sólidos de baja gravedad (6% en peso). Su capacidad inhibitoria se incrementa con el agregado de una sal inorgánica, particularmente KCL. Los fluidos MMH, minimizan la transmisión de la presión de poro al mantener una presión diferencial sobre la cara de la formación, lo cual permite estabilizar la pared del pozo.

En la preparación y mantenimiento de este sistema no se recomienda utilizar ningún tipo de dispersante de carácter aniónico, como tampoco ningún aditivo común para

controlar el filtrado que no sea almidón modificado.

Los aditivos que comúnmente se utilizan en la preparación de este sistema son:

- Agua blanda (libre de calcio)
- Soda cáustica
- Bentonita
- Hidróxido metálico
- KCL
- Almidón modificado
- Densificante, según la densidad requerida

La Bentonita se debe agregar lentamente para lograr su máxima hidratación y dispersión. Los sistemas MMH tienen aplicación especial en la perforación de pozos horizontales o con alto ángulo de inclinación.

Poli glicoles con KCL: Estos fluidos se formulan a base de poli glicerinas sintéticas de bajo peso molecular, que tienden a neutralizar la actividad química del agua por la presencia de múltiples oxidrilos, los cuales reducen la tendencia del agua a ser atraída por la formación. Estos sistemas tienen bajo nivel de toxicidad, son biodegradables y ofrecen prácticamente las mismas ventajas de los fluidos base aceite, con la diferencia de ser un fluido base acuosa, por esta razón se utilizan generalmente para perforar formaciones lutíticas sensibles al agua.

Glicoles: Son compuestos orgánicos que se derivan de los alcoholes, tienen gravedad específica de ± 0.94 y son muy efectivos para:

- Mejorar la calidad de revoque.
- Reducir el filtrado.
- Ayudar a mantener la estabilidad del pozo.
- Minimizar la dispersión de ripios.
- Reducir las pegas diferenciales.

Algunos glicoles son solubles en agua y otros insolubles. Los solubles son de bajo peso molecular y se utilizan en concentración de $\pm 3-7\%$ en volumen para estabilizar formaciones reactivas, mientras que los insolubles son de alto peso molecular y se utiliza normalmente en concentración de $\pm 3-5\%$ en volumen para dar lubricidad, preparar píldoras especiales y solucionar problemas de atascamiento diferencial de tubería.

La propiedad principal de los glicoles es su punto de nube, es decir, temperatura a la cual deja de ser soluble en agua. Esta propiedad hace que el glicol soluble precipite y sea adsorbido por la matriz de lutita, cuando la temperatura del filtrado aumenta en el momento que éste, penetra a la formación.

Fluidos Salinos (Sistema Drill-In): Son sistemas formulados con sales seleccionadas por tamaño (fase continua salmuera) y se utilizan básicamente para perforar zonas productoras no consolidadas, en pozos horizontales y con alto ángulo de inclinación. Estos fluidos son ambientalmente bastante seguros y prácticamente no requieren usar lubricantes especiales, porque su coeficiente de lubricidad, es casi igual, al de los fluidos que si usan lubricantes. Los fluidos salinos se formulan generalmente con los siguientes materiales:

- Agente viscosificante no iónico

- Densificante salino
- Controlador de filtrado
- Agente alcalino buffer (MgO)
- Antiespumante
- Sales puenteantes
- Inhibidor a base de glicoles

Estos sistemas funcionan bastante bien, cuando la concentración de sal se mantiene por encima de 189000 *ppm* de cloruros y la del agente sellante o puenteante en 46 (*lb/BB*).

Fluidos salinos base formiato: El término formiato aplica en general a tres (3) compuestos solubles en agua que son:

- Formiato de sodio ($NaCOOH$).
- Formiato de potasio ($KCOOH$).
- Formiato de cesio ($CsCOOH$).

Estos formiatos son sales alcalinas metálicas procedentes del ácido fórmico que proveen soluciones de altas densidades y bajas viscosidades, las cuales prácticamente no causan daño al medio ambiente y resultan rápidamente biodegradables. Además, son poderosos antioxidantes que ayudan a proteger a los agentes viscosificantes y a los polímeros reductores de filtrado contra la degradación térmica, hasta temperaturas de por lo menos 300 °F.

En el siguiente cuadro se observan las propiedades más resaltantes de estos sistemas.

Tabla 2.2. Propiedades de los sistemas salinos base formiato.

Formiato	% en peso	G.E.	Peso (<i>lb/gal</i>)	Viscosidad (<i>cp</i>)	pH
Sodio	45	1.34	11.2	71	9.4
Potasio	76	1.60	13.2	10.9	10.6
Cesio	83	2.37	19.8	2.8	9.0

Fuente: CIED Modificada

Entre otras ventajas notables de estos sistemas están:

- La alta densidad que se puede lograr con el mínimo contenido de sólido, lo que facilita una alta tasa de penetración (ROP) y una mínima pérdida de presión por fricción.
- Alta capacidad inhibitoria que se logra por incremento de la viscosidad del filtrado y por la disminución de la actividad del agua en el fluido.
- Alta resistencia térmica. La combinación de los formiatos de sodio y potasio imparten estabilidad térmica al fluido hasta 40° F.
- Mayor posibilidad de utilizar mallas muy finas por la carencia de sólidos para densificar.
- Menor degradación de ripio en el flujo de retorno a la superficie, debido a las propiedades inhibitorias del sistema.
- Mayor transmisión de energía en el fondo por su baja viscosidad.
- Mayor compatibilidad con las aguas de formación que contienen sulfatos y carbonados. Esta ventaja reduce la posibilidad de dañar la permeabilidad de la formación por la precipitación de sales.

- Reusables.

Entre las desventajas se realiza los excesivos costos.

2.3.3. Fluidos dispersos no inhibidos.

¹⁹ Estos fluidos contienen adelgazantes químicos, pero no utilizan iones inhibidores de lutitas. En este caso, los adelgazantes van actuar sobre los sólidos arcillosos perforados, minimizando su dispersión. Dentro de esta clasificación se encuentran los fluidos lignosulfonato / lignito.

Fluido Lignosulfonato / Lignito: Estos fluidos se formulan a base de agua, soda cáustica, Bentonita, lignosulfonato, lignito y material densificante. Se preparan y mantienen con facilidad, pero son afectados fácilmente por cualquier contaminante común; en consecuencia, cuando se perfora con este tipo de fluido, se debe verificar constantemente los valores de alcalinidad (Pf / Mf), para detectar la presencia de cualquier contaminante que pueda efectuar adversamente las condiciones del fluido. La conversión a un fluido lignosulfonato es simple y se hace en la medida, que las condiciones del pozo lo requiera.

Se puede lograr a partir de un fluido de iniciación en una o varias circulaciones, o se puede preparar totalmente nuevo en los tanques de superficie, haciéndose el cambio de fluidos a pozo desnudo o revestido.

Características:

¹⁹CENTRO INTERNACIONAL DE EDUCACIÓN Y DESARROLLO (CIED), ASOCIACIÓN CIVIL, FILIAL DE PETRÓLEOS DE VENEZUELA, S.A. Manual de fluidos de perforación. PDVSA. Primera versión, agosto, 2002.

- Estos fluidos son muy versátiles y se utilizan frecuentemente para perforar formaciones no productoras y no reactivas.
- Los lignosulfonatos / lignitos son poderosos adelgazantes químicos que imparten propiedades inhibitorias al sistema, sin embargo, hay que tener cuidado con un sobre tratamiento para evitar la perdida de viscosidad y la formación de espuma, sobre todo cuando el fluido tiene baja densidad.
- Estos sistemas sufren degradación termal, cuando permanecen bajo períodos de exposición prolongada a temperaturas mayores a $300^{\circ}F$. Además, requieren de un control efectivo de sólidos y del agregado continuo de soda cáustica diluida, para mantener el pH en el rango de 9.5-11.5.
- En condiciones normales de perforación, estos sistemas funcionan bien en una relación de dos libras de lignosulfonato por cada libra de lignito. Sin embargo, es conveniente en la medida que la temperatura aumenta ir cambiando la relación, puesto que los lignitos son más efectivos como controladores de filtrado a altas temperatura que los lignosulfonatos.
- La lubricidad de estos fluidos se incrementa con aceites de bajo contenido aromático, teniendo el cuidado de no adicionar aceite, al mismo tiempo que se esté agregando el material densificante, para evitar su precipitación.

Para preparar un fluido lignosulfonato y obtener los mejores resultados, se recomienda seguir el siguiente orden de mezcla:

- Usar agua blanda (libre de calcio)
- Agregar soda cáustica hasta lograr un pH mínimo de 9.0..
- Agregar gradualmente Bentonita hasta lograr su completa hidratación y cierto grado de floculación. Es recomendable obtener una viscosidad embudo próxima a los 60 s.

- Agregar dos libras de lignosulfonato con una libra de lignito y mezclar lentamente hasta que la viscosidad embudo disminuya mas o menos 40 s.
- Agregar barita de acuerdo con la densidad requerida.
- Ajustar el pH dentro de un rango de 9.5-10.5

2.3.4. Fluidos dispersos inhibidos.

²⁰ Los fluidos dispersos inhibidos utilizan adelgazantes químicos para dispersar los sólidos arcillosos perforados y también, iones inhibidores para evitar la hidratación y debilitamiento de las lutitas. Dentro de esta clasificación, se encuentran los fluidos de base calcio.

Fluido base calcio: Estos fluidos se utilizan en áreas donde la hidratación y el hinchamiento de las lutitas causan una significativa inestabilidad del pozo. En estos fluidos se mantienen mayores niveles de calcio solubles, para lograr un ambiente inhibidor y minimizar el hinchamiento de las arcillas.

Existen dos tipos básicos de fluidos de base calcio los cuales son fluidos de cal y fluidos de yeso

Fluido base cal: Los fluidos de cal se preparan a partir de cualquier fluido base agua ligeramente tratado, con bajo contenido de sólido y baja viscosidad (+40s). Es recomendable efectuar el cambio dentro del revestidor, inmediatamente después de regresar al fondo con mecha nueva.

²⁰CENTRO INTERNACIONAL DE EDUCACIÓN Y DESARROLLO (CIED), ASOCIACIÓN CIVIL, FILIAL DE PETRÓLEOS DE VENEZUELA, S.A. Manual de fluidos de perforación. PDVSA. Primera versión, agosto, 2002.

Tabla 2.3. Conversión a fluido de cal.

Aditivos	Concentración (lb/BB)
Adelgazante	2.0-4.0
Soda caustica	1.0
Cal	4.0-8.0
Reductor de filtrado	0.5-1.0

Fuente: CIED Modificada

La concentración de estos aditivos puede variar de acuerdo con la condición de fluido y su contenido total de sólidos, antes de la conversión. Si este contenido es alto, se debe diluir con agua para reducir la severidad del pico de conversión. Durante la conversión, se debe agregar más cal de la requerida para mantener un exceso en el fluido, con el fin de reemplazar el calcio absorbido por las lutitas perforadas.

Control del pH: Este control es muy importante para mantener el nivel apropiado de calcio libre: la solubilidad de la cal y el contenido de calcio soluble en el filtrado disminuyen a medida que el pH aumenta.

En consecuencia la adición de soda cáustica limita, por consiguiente, la solubilidad de la cal y sirve para dar mínimas viscosidades y resistencias de gel.

Contenido de calcio: El calcio en estos fluidos debe estar en un rango de 100 a 300 (mg/L) y es controlado por medio de la alcalinidad del filtrado (Pf). De acuerdo con el rango de alcalinidad del filtrado y el exceso de cal, estos fluidos se clasifican en:

Tabla 2.4. Conversión a fluido de cal.

Alcalinidad	Cal	Pf (cc)	Exceso de cal(lb/BB)
Baja	Baja	0.8-2.0	0.8-2.0
Intermedia	Intermedia	2-5	2-5
Alta	Alta	5-15	5-15

Fuente: CIED Modificada

Las propiedades físicas de estos fluidos son fáciles de mantener, cuando los valores de Pf y el exceso de cal son más o menos iguales.

Las propiedades físicas de estos fluidos son afectadas a temperaturas mayores a $250^{\circ}F$. En este caso el fluido se deshidrata y tiende a solidificarse haciéndose muy difícil el control del filtrado. Cuando las altas temperaturas de la formación imposibilitan el uso de los fluidos con alcalinidad intermedia y alta, se utilizan los fluidos de baja alcalinidad, cuando se estima perforar formaciones de anhidrita o yeso, o simplemente se espera un influjo de agua salada, se utilizan los fluidos de cal intermedia o alta.

Indicadores de calidad: Los fluidos de cal, generalmente se consideran en buenas condiciones, cuando el gel inicial es cero y el gel a los diez minutos también es cero o casi cero, y cuando las adiciones de cal no causan aumentos significativos de la viscosidad. Esto trae como ventaja, la disminución del efecto pistón o succión al bajar o sacar tubería.

Fluido a base yeso: Estos fluidos, al igual que los fluidos de cal, se pueden preparar a partir de cualquier fluido base agua y particularmente de los nativos o de los de bajo pH ligeramente tratados. En relación con los fluidos encalados (base cal), estos fluidos muestran mayores niveles de calcio (600 a 1200 mg/L) y menores valores de alcalinidad (0.2 a 0.7 cc). Normalmente presentan una pérdida de filtrado mayor, la cual se controla con Carboxi-Metil-Celulosa (*CMC*). En este caso, la estabilidad térmica del fluido se ve limitada por el rango térmico del *CMC*.

Conversión a fluido de yeso Los procedimientos para la conversión a un fluido de yeso, son exactamente iguales a los que se usan en la conversión a fluidos de cal. Es muy posible que durante la conversión se forme espuma superficial, lo cual no causa consecuencias de gravedad.

Tabla 2.5. Conversión a fluido de yeso.

Aditivos	Concentración (lb/bbl)
Adelgazante	3.0-6.0
Soda cáustica	1.0
Yeso	4.0-6.0
Reductor de filtrado	0.5-1.0

Fuente: CIED Modificada

2.3.5. Fluidos convencionales de baja densidad.

²¹ Estos fluidos están diseñados para perforar, completar o rehabilitar pozos en yacimientos maduros, agotados o con fracturas naturales, donde las pérdidas de circulación constituyen un problema potencial. Generalmente los gradientes de presión en estos yacimientos están alrededor de 0.3 (lb/ft), equivalentes a densidades entre 5 y 6 (lb/gal).

Inteflow®: Es una emulsión directa de aceite en agua, preparada con aceite mineral en fase interna y agua fresca en fase externa, estabilizada con un surfactante no tóxico biodegradable que le confiere a la emulsión densidades, que varían entre 6.9-7.2 (lb/gal) y estabilidad térmica cercana a los 300°F. El surfactante es utilizado en concentración de 20(lb/BB) y la relación aceite/agua puede variar entre 80/20 en un sistema sin densificar, a 40/60 en un sistema densificado.

Microburbujas (Aphrones): Es un fluido formulado con aditivos químicos que facilitan el encapsulamiento del aire o del gas de formación, generando aphrones estables y recirculables que actúan como material puenteante, facilitando la perforación de zonas con bajos gradientes de presión y altas permeabilidades. Los aphrones, son microburbujas esféricas conformadas por un núcleo de aire o

²¹CENTRO INTERNACIONAL DE EDUCACIÓN Y DESARROLLO (CIED), ASOCIACIÓN CIVIL, FILIAL DE PETRÓLEOS DE VENEZUELA, S.A. Manual de fluidos de perforación. PDVSA. Primera versión, agosto, 2002.

gas, rodeado por delgadas capas de agua y mantenidas por la tensión interfacial desarrollada por un surfactante. Estos se originan bajo condición de turbulencia y cavitación a nivel de la mecha, y en sitio donde exista alta concentración de gas disuelto en equilibrio.

Base olefina o Poliglicol disuelto en agua y estabilizado con sulfatante: Este sistema de baja densidad mantiene pequeñas gotas de olefina dentro del fluido y desarrolla alta viscosidad a baja tasa de corte (LSRV). Durante la preparación y mantenimiento del sistema se genera bastante espuma, razón por la cual se requiere el uso de antiespumante

3. ADITIVOS PARA FLUIDOS DE PERFORACIÓN

Los aditivos de fluidos de perforación son productos especiales diseñados para completar las propiedades físicas que debe llevar el lodo de perforación según necesidades específicas dependientes del tipo de formación, eficiencia de la perforación y funcionamiento óptimo de equipos y herramientas.

3.1 MATERIALES DENSIFICANTES

Los materiales densificantes son aditivos que se utilizan para incrementar la densidad del fluido que tienen como función principal conservar en sitio los fluidos de formación, de manera que la presión hidrostática ejercida sea ligeramente mayor a la presión de formación, evitando así derrumbes y posibles arremetidas.

De ellos es importante su gravedad específica (cuanto mayor sea menos masa densificante requerida), su dureza y su disponibilidad en la naturaleza. Algunos de ellos son explotados como minerales y son usados sin modificación.

Tabla 3.1. Materiales densificantes comunes.

Material	Formula Quimica	Gravedad Especifica
Galena	SPb	7.4 - 7.7
Hematita	Fe_2O^3	4.9 - 5.3
Magnetita	Fe_3O^4	5.0 - 5.2
Baritina	SO_4Ba	4.2 - 4.5
Siderita	CO_3Fe	3.7 - 3.9
Dolomita	CO_3CaCO_3Mg	2.8 - 2.9
Calcita	CO_3Ca	2.6 - 2.8

Fuente: CIED Modificada

3.1.1. Barita.

La Barita es Sulfato de Bario ($BaSO_4$) natural, que contiene generalmente 65.7 % de BaO y 34.3% de SO_3 ; su color varia de gris claro a marrón. Es un material inerte, insoluble en agua, molido en diferentes granulometrías y está clasificada como sedimento, siendo su tamaño promedio de 44 (μm). Su gravedad específica está entre 4.3 a 4.5 y su dureza entre 3 a 3.5, es muy usada en todos los tipos de lodo, su rango de aplicación es en zonas productoras que requieran densidades mayores a 12 (lb/gal) hasta 20 (lb/gal).

Se origina en ambientes sedimentarios y en rocas ígneas y metamórficas. Los depósitos de barita se encuentran en forma residual, llenando cavidades o como formaciones.

3.1.2. Agentes contaminantes de la Barita.

El uso de la Barita como aditivo en fluidos de perforación muchas veces se ve limitado por la cantidad y el tipo de contaminante. Esta permite una contaminación hasta del 15 % sin afectar sus propiedades.

La Barita comercial debe tener una gravedad específica de por lo menos 4.2 y contener menos de 250 ppm . de calcio, según API. Esta gravedad específica se reduce en presencia de impurezas como cuarzo, anhidrita, calcio, etc. Aumenta en presencia de minerales de hierro.

La contaminación por Carbonatos puede impedir el uso comercial de la Barita. Minerales como la piritita pueden oxidarse y formar sales solubles que pueden afectar adversamente las propiedades del fluido. La industria considera que una Barita que contenga más de 3000 ppm . está contaminada por carbonatos.

Para contrarrestar los efectos de los posibles contaminantes se mezcla, a veces, la Barita con pequeñas cantidades de fosfatos, tales como TSPF o SAPP. Esta

operación se realiza durante el proceso de molienda. El TSPP es básico (pH 10) y tóxico, mientras que el SAPP es ácido (pH 4.8) y no tóxico.

Carbonato de calcio: El Carbonato de calcio $CaCO_3$, es un sólido inerte, de baja gravedad específica. Se puede presentar en dos formas: como Aragonito o Calcita según como cristalice en la naturaleza. Para el Aragonito la gravedad específica y dureza varían respectivamente entre 2.9 a 3.0 y entre 3.5 a 4. La calcita presenta gravedad específica, entre 2.6 a 2.8.

Es totalmente soluble en HCl al 15% y se dispersa con mayor facilidad que la Barita en fluidos de perforación base aceite. Usado para aumentar densidades hasta el orden de 12 *lb/gal*.

Minerales de Hierro y Plomo: Son minerales que contienen hierro o plomo como componente dominante, con gravedad específica mayor a 4.2.

Hematita: La Hematita (Óxido de hierro) puede encontrarse en la naturaleza asociada a la Barita, su gravedad específica está entre 5 a 5.2 y su dureza entre 5.5 a 6. Su uso es muy limitado debido a que tiende a aumentar las pérdidas de filtrado, grosor de la torta y es considerado abrasivo para la broca, la sarta y bombas.

Orimatita: Mineral de hierro que se encuentra en periodo de prueba con el fin de reemplazar la Barita. Requiere menores cantidades para lograr la misma densidad respecto a la Barita, por lo que permite perforar a una mayor tasa de penetración, obteniéndose un menor porcentaje de sólidos y por ende menor riesgo de daño a la formación.

Limenita: La Limenita ($FeTiO_3$), tiene una gravedad específica de 4.72 y una dureza entre 5 a 6. Por ser muy abrasivo, su uso se ve limitado a casos en los cuales la velocidad de flujo es baja.

Galena: La Galena (Sulfuro de plomo) de gravedad específica entre 7,4 a 7.6 y dureza entre 2 a 3, limita su uso por ser altamente tóxico, se usa como aditivo químico de alta densidad y es requerido particularmente cuando el pozo no puede ser controlado con otro material.

3.2 MATERIALES VISCOSIFICANTES

Los materiales viscosificantes son aditivos que agregados al fluido de perforación, mejora la capacidad de este para la remoción de sólidos, suspensión de material y propiedades de gel. Sin embargo, no todos los viscosificantes potenciales van a brindar una limpieza efectiva y económica del pozo, y tampoco se hallan totalmente a salvo de las interferencias mecánicas y químicas del medio ambiente

3.2.1. Bentonita.

Arcilla rica en montmorillonita, con alta capacidad de intercambio catiónico ((80 a 150meq)/100 g), que a su vez es responsable de la capacidad de hidratación de la Bentonita en agua dulce.

3.2.2. Atapulguita.

La Atapulguita (Silicato hidromagnésico - alumínico) es usada para dar viscosidad a lodos salados, para los cuales la Bentonita solo sería efectiva prehidratandola en agua dulce. Su estructura cristalina que se desintegra en forma de agujas, se amontona creando un efecto cepillo que proporciona la viscosidad para limpiar el hueco de cortes de perforación; aunque no necesariamente controla las pérdidas de circulación, para lo que se requiere aditivos adicionales.

3.2.3. Hidroxietilcelulosa (HEC).

Viscosificante polimérico utilizado en sistemas de salmueras claras y sistemas donde la suspensión prolongada de sólidos no sea necesaria. Para una HEC de buena calidad, tiempo de expansión y el procedimiento de mezcla varían con la composición y concentración de salmuera, el agua libre, la temperatura y el esfuerzo de corte.

3.2.4. Goma Xántica.

La goma xántica, un polímero natural de alto peso molecular, es producida por la fermentación bacteriana del microorganismo *Xanthomonas Campestris*. Este polímero es ligeramente aniónico, pero sigue siendo compatible con la mayoría de las soluciones de electrolito.

Una de las propiedades más importantes de la goma xántica es su capacidad para proporcionar propiedades de suspensión (geles y viscosidad a baja velocidad de corte), lo que la mayoría de los otros polímeros no pueden proporcionar. Las soluciones de goma xántica son pseudoplásticas y disminuyen su velocidad con el esfuerzo de corte, de manera que el esfuerzo de corte aumenta cuando la velocidad

de corte disminuye. La goma xántica se usa cuando la suspensión de los sólidos y la capacidad de transporte son necesarias y cuando las altas temperaturas de fondo impiden el uso de HEC.

3.3 MATERIALES DISPERSANTES.

La reología está relacionada con la capacidad de limpieza y suspensión de los fluidos de perforación. Esta se incrementa con agentes viscosificantes y se disminuye con adelgazantes químicos o mediante un proceso de dilución.

La principal función de los materiales dispersantes es reducir la viscosidad del sistema en la etapa de perforación. Como propósito secundario estos aditivos llevan a cabo la remoción del fluido de perforación y los sedimentos que quedan en la zona de producción del pozo de agua durante el desarrollo del pozo.

Como controladores reológicos se utilizan básicamente: lignosulfonatos, lignitos y adelgazantes poliméricos.

3.3.1. Lignosulfonatos.

Reducen la viscosidad del fluido actuando como dispersantes químicos cuando se presenta un exceso de sólidos reactivos en el fluido, además, actúan como controladores de filtrado y estabilizadores de los fluidos a altas temperaturas.

Los lignosulfonatos defloculan a los fluidos base agua al neutralizar las cargas eléctricas de las arcillas, o sea, se adhieren a las partículas de bentonita incrementando la carga superficial de las mismas a niveles de pH entre 9 y 10, lo cual causa una repulsión entre esas partículas y por lo tanto, una defloculación del fluido.

Son utilizados para todos fluidos de base acuosa y no son limitados por el pH del fluido.

Una mayor dispersión del fluido es favorecida por el bajo peso molecular de estos pero la eficiencia como controlador de filtrado disminuye, esto se cumple también en sentido contrario.

Resisten temperaturas de $\pm 400- 500^{\circ}F$ durante una exposición en tiempo corto. Para un tiempo mayor, la temperatura debe ser $300^{\circ}F$ para la no degradación, lo que daría lugar a la formación de CO_2 y H_2S (Gases ácidos). El pH de los varía lignosulfonatos entre 4 y 7.

3.4 MATERIALES PARA CONTROLAR EL PH.

Para un óptimo desempeño de los aditivos conservando las propiedades reológicas apropiadas, es importante tener el pH en un rango adecuado, entre 7.5 y 9.5 para un fluido de bajo pH, y entre 9.5 y 11.5 para un fluido de alto pH, de acuerdo a la exigencia de la perforación. Esto se puede controlar adicionando al fluido un agente de control de alcalinidad, bien sea para aumentar o disminuir el pH según las condiciones y especificaciones requeridas.

3.4.1. Soda cáustica.

Hidróxido de sodio ($NaOH$) que se puede usar en salmueras monovalentes como fuente de iones hidroxilo para controlar el pH. Otros nombres comunes para el hidróxido de sodio son cáustica, álcali y lejía. Se trata de una base fuerte que es extremadamente soluble en agua y se disocia formando iones sodio (Na^+) e hidroxilo (OH^-) en solución.

3.4.2. Óxido de magnesio.

El óxido de magnesio se usa para aumentar el pH en salmueras divalentes o complejas. Este producto químico moderadamente soluble forma un pH amortiguado de 8,5 a 10, según el ambiente iónico.

3.5 MATERIALES PARA DAR LUBRICIDAD

Durante la etapa de perforación, la fricción entre las tuberías y el torque afecta la rotación de las mismas, y por tanto, la eficiencia del sistema y de equipos que pueden resultar dañados a causa de esto.

El factor de fricción se puede controlar mediante aditivos que den lubricidad a los fluidos base agua con lubricantes especiales desarrollados para tal fin, Estos productos se incorporan en el revoque o cubre las superficies metálicas de la sarta de tubería con una película protectora, lo cual reduce de una manera efectiva la fricción mecánica entre la sarta y la pared del pozo.

La mayor parte de lubricantes están constituidos por:

- Aceites, minerales
- Surfactantes
- Grafito
- Gilsonita
- Bolillas de vidrio

3.6 MATERIALES SURFACTANTES

Los surfactantes son sustancias que se concentran en la interfase de dos medios sólido/agua, aceite/agua, agua/aire. Estos aditivos agregados al lodo modifican la tensión superficial de la interfase, controlando el grado de emulsificación, agregación, dispersión, espuma, humectación, etc.

3.7 MATERIALES PARA LA REMOCIÓN DE SÓLIDOS

En la operación de perforación se genera una gran cantidad de partículas sólidas que deben ser removidas del sistema de circulación, permitiendo un control óptimo de las propiedades reológicas. Existen dos métodos:

3.7.1. Método químico.

Incluye los mecanismos de dilución, floculación/coagulación. La floculación se logra mediante la atracción o reemplazo de cargas causadas por polímeros, mientras que la coagulación es lograda por la modificación de cargas causadas por sales minerales. Estos dos procesos permiten incrementar el tamaño de las partículas coloidales por agregación de las mismas para facilitar la remoción estas a través de los equipos mecánicos.

3.7.2. Método mecánico.

Utiliza equipos mecánicos de control de sólidos: Zaranda vibratoria, hidrociclones, desarenadores, D-Silters, limpiadores de lodo y centrifugas. Los materiales que se usan con más frecuencia como agentes floculantes son:

- Sales
- Cal hidratada
- Polímeros sintéticos (poliacrimidas)
- Goma Guar
- Polimeros acrílicos
- Yeso

3.8 MATERIALES ESTABILIZANTES DE LUTITAS

La arcilla y la pizarra reaccionan con la fase del agua del fluido de perforación, haciendo la mezcla pegajosa, aumentando el hinchamiento e induciendo el desprendimiento. Los estabilizadores de arcilla y pizarra se adhieren a las paredes del hoyo y a la superficie de los recortes de la perforación, encapsulándolos. Esta encapsulación puede efectivamente sellar su superficie e inhibir la reacción con el fluido, minimizando el efecto pegajoso, el hinchamiento y el desprendimiento, e incrementando la estabilidad del hoyo.

Los materiales estabilizantes de lutitas utilizados con más frecuencia son:

- Polímeros sintéticos de alto peso molecular (PHPA)

- Asfaltos
- Sales inorgánicas
- Cal /yeso

3.9 MATERIALES PARA EL CONTROL DE LA CORROSIÓN

Agentes oxidantes y sustancias químicas que se filtran al sistema a través del embudo cuando se mezclan productos químicos o por el aire que entra por las conexiones de tubería, pueden ocasionar serios problemas de corrosión dañando la sarta y/o accesorios y comprometiendo el óptimo funcionamiento de los equipos y del sistema general durante la etapa de la perforación.

La corrosión por oxígeno debe ser controlada minimizando la entrada de aire en la superficie y limpiándolo del sistema con la ayuda de materiales secuestradores de oxígeno. Los agentes más utilizados son sales solubles de sulfito y de cromato. Si no es posible el uso de los secuestradores se pueden utilizar agentes que forman una película fina sobre la superficie del acero evitando un contacto directo entre el acero y el oxígeno. Un daño de gran magnitud cuando no se controla la presencia de oxígeno en concentración mínima es la formación en ciertas áreas de cavidades de corrosión conocidas como pitting

La remoción del H_2S Se logra con materiales de zinc los cuales forman sulfuros insolubles.

3.10 MATERIALES PARA EL CONTROL DE BACTERIAS Y HONGOS

Los organismos microscópicos como bacterias, algas y hongos pueden existir en los lodos bajo diversas condiciones de pH. Dado que la mayoría de los fluidos de perforación contienen materiales orgánicos que son susceptibles a la degradación, la aplicación de estos productos va a inhibir o eliminar la reproducción y el crecimiento de bacterias y hongos.

Los bactericidas se dividen en dos grandes categorías que son oxidantes y no oxidantes.

En los fluidos de perforación se usan bactericidas no oxidantes, entre los más utilizados tenemos:

- Aldehidos
- Clorofenoles
- Sulfuros orgánicos
- Aminas cuaternarias

3.11 MATERIALES PARA LA PRECIPITACIÓN DE CONTAMINANTES

Las propiedades del lodo de perforación pueden verse afectadas por la presencia de agentes contaminantes disueltos en este y que presentes en estado de solubilidad. Por lo tanto, es necesaria la remoción de los componentes solubles, agregando agentes o materiales específicos para tal fin y que mediante una reacción

convierten el estado de solubilidad en insolubilidad, precipitando los materiales contaminantes.

Entre los materiales de uso común como materiales para la precipitación de contaminantes se tienen:

- Cal
- Yeso
- Bicarbonato de sodio
- Carbonato de sodio

Los carbonatos se remueven de los fluidos de perforación mediante la adición de cantidades calculadas de cal o yeso. El calcio, a su vez, se trata con adiciones controladas de soda ash para precipitarlo como carbonato de calcio.

3.12 MATERIALES PARA CONTROLAR LA PÉRDIDA DE CIRCULACIÓN

La pérdida del lodo hacia la formación, ya sea por invasión o pérdida del lodo hacia formaciones cavernosas, fisuradas o no consolidadas, o por fracturamiento hidráulica, producida por presiones inducidas excesivas en la perforación de formaciones productoras y no productoras es denominada como pérdida de circulación.

3.12.1. Pérdida de circulación por invasión.

- Las formaciones de grano grueso no consolidadas pueden tener una permeabilidad suficientemente alta para que el lodo invada la matriz de la formación, resultando en la pérdida de circulación.
- Las formaciones agotadas (generalmente arenas) constituyen otra zona de pérdida potencial. La producción de formaciones que están ubicadas en el mismo campo, o que están muy próximas las unas de las otras, puede causar una presión de la formación por debajo de lo normal (agotada), debido a la extracción de los fluidos de la formación. En tal caso, los pesos de lodo requeridos para controlar las presiones de las otras formaciones expuestas pueden ser demasiado altos para la formación agotada, forzando el lodo a invadir la formación agotada de baja presión.
- Las zonas cavernosas o fisuradas están generalmente relacionadas con las formaciones volcánicas o de carbonatos (caliza y dolomita) de baja presión. En la caliza, las fisuras son creadas por el flujo continuo anterior de agua que disolvió parte de la matriz de la roca (lixiviación), creando un espacio vacío que suele llenarse posteriormente de aceite. Cuando estas formaciones fisuradas son perforadas, la columna de perforación puede caer libremente a través de la zona vacía y se suele sufrir una pérdida rápida de lodo. El volumen y la persistencia de este tipo de pérdida depende del grado de interconexión entre las fisuras.

3.12.2. Pérdida de circulación por fracturación.

La fracturación hidráulica comienza y la pérdida de circulación ocurre cuando se alcanza o se excede una determinada presión crítica de fractura. Una vez que una

fractura ha sido creada o abierta por una presión, puede que sea difícil repararla y es posible que no se pueda restablecer la integridad original de la formación. La pérdida de circulación puede persistir, aunque la presión sea reducida más tarde. Ésta es una de las razones por las cuales es mejor pre-tratar e impedir la pérdida de circulación que permitir que ocurra.

La pérdida de circulación que resulta de la presión inducida suele ser causada por una de dos situaciones:

- Colocación incorrecta de la tubería de revestimiento intermedia. Si se coloca la tubería de revestimiento encima de la zona de transición, pasando de presiones normales a presiones anormales, las presiones ejercidas por el lodo más pesado (requerido para balancear las presiones crecientes) inducirá frecuentemente la facturación en el asiento débil de la zapata.
- Las presiones de fondo excesivas resultan de muchas condiciones:
 - Hidráulica inapropiada. Caudales y velocidades de bombeo excesivos, causando altas presiones de Densidad Equivalente de Circulación (ECD).
 - La Velocidad de Penetración (ROP) excesiva para un caudal determinado resultará en una alta concentración de recortes en el fluido anular, causando una alta ECD.
 - Golpeteo de la tubería.
 - Condiciones del pozo y propiedades del lodo.

Una buena planificación y prácticas de perforación apropiadas son los factores claves para impedir la pérdida de circulación, minimizando las presiones excesivas sobre la formación. Para el control de la pérdida de circulación existen materiales de control total o parcial, los más usados son:

- Carbonato de calcio ($CaCO_3$): Es un material inerte procedente del mármol molido a diferente granulometría. El carbonato de calcio es utilizado en formaciones productoras para densificar, controlar pérdida de circulación y minimizar filtrado, al actuar como agente puenteante. El Carbonato de calcio dolomítico ($CaCO_3MgCO_3$) de granulometría D50 (30/35) es usado frecuentemente para controlar filtrado mediante el desarrollo de un puente o sello efectivo en la cara de la formación. La efectividad del sello dependerá de la concentración y tamaño de las partículas que a su vez, es función del tamaño del poro y garganta de la roca, sobre todo cuando se trata de arenisca, ya que en formaciones microfracturadas este concepto posiblemente no aplica. Según A. Rushton, A. Word y R. Holdich la concentración del agente sellante no debe ser mayor al 5 % por volumen del fluido usado, y el tamaño medio de las partículas debe ser igual o ligeramente mayor a un tercio ($1/3$) del diámetro medio de los poros de la roca. La máxima densidad que puede lograrse con este material es de 12 (*lb/gal*).
- Fibra celulósica: Este material es muy efectivo para controlar pérdida de circulación en formaciones no productoras, cuando se perfora con fluidos base agua o base aceite.
- Grafito siliconizado: El uso del Grafito siliconizado con fibra celulósica micronizada recubierta con gilsonita es muy efectivo para sellar microfracturas en formaciones no productoras.

3.13 MATERIALES PARA EL CONTROL DE FILTRACIÓN

La pérdida del fluido hacia la cara del pozo a través de una formación permeable, cuando el fluido es sometido a una presión diferencial, llenando los espacios vacíos y luego formando un revoque o torta es referida como filtración.

3.13.1. Formación y calidad del revoque.

El revoque o torta se forma por la deposición de partículas sólidas presentes en el fluido sobre la pared del hoyo. Su espesor depende del filtrado y de la cantidad y tipo de sólidos que contiene el fluido. Los sólidos arcillosos son los que realmente forman revoques de calidad.

Entre los factores que garantizan la formación de un revoque de calidad se tienen:

- Diseño del agente sellante
- Control de calidad de los aditivos usados
- Eficiencia de los equipos de control de sólidos
- Control y seguimiento sobre la distribución del tamaño de partículas

3.13.2. Problemas potenciales relacionados con el espesor excesivo del revoque.

- Puntos apretados en el pozo que causan un arrastre excesivo.
- Mayor suabeo y pistoneo debido a la reducción del espacio anular libre.

- Pegadura por presión diferencial de la columna de perforación debido a la mayor superficie de contacto y al desarrollo rápido de las fuerzas de adhesión causado por la tasa de filtración más alta.
- Dificultades con la cementación primaria debido al desplazamiento inadecuado del revoque.
- Mayor dificultad para bajar el revestidor.

3.13.3. Problemas potenciales relacionados con la invasión excesiva de filtrado.

- Daños a la formación causados por la invasión de filtrado y sólidos. La zona dañada está ubicada a una profundidad demasiado grande para que pueda ser reparada mediante perforación o acidificación. Los daños pueden consistir en precipitación de compuestos insolubles, cambios de humectabilidad, cambios de permeabilidad relativa respecto al aceite o al gas, taponamiento de la formación por finos o sólidos, y el hinchamiento de las arcillas in-situ.
- Prueba inválida de muestreo del fluido de la formación. Las pruebas de flujo del fluido de la formación pueden dar resultados que se refieren al filtrado y no a los fluidos del yacimiento.
- Dificultades en la evaluación de la formación causadas por la invasión excesiva de filtrado, la mala transmisión de las propiedades eléctricas a través de revoques gruesos, y posibles problemas mecánicos al bajar y recuperar las herramientas de registro. Propiedades erróneas medidas por las herramientas de registro (midiendo propiedades alteradas por el filtrado en vez de las propiedades de los fluidos del yacimiento).

- Las zonas de aceite y gas pueden pasar desapercibidas porque el filtrado está desplazando a los hidrocarburos, alejándolos del pozo lo cual dificulta su detección.

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. Los agentes puenteantes deben tener un tamaño aproximadamente igual a la mitad del tamaño de la abertura más grande. Dichos agentes puenteante incluyen el carbonato de calcio, la celulosa molida y una gran variedad de materiales de pérdida de circulación. El $CaCO_3$ micronizado de origen dolomítico D50 (30/35) es muy efectivo como agente puenteante, razón por la cual se usa con regularidad en yacimientos depletado para minimizar pérdidas de circulación y filtrado. La filtración ocurre bajo condiciones tanto dinámicas como estáticas, durante las operaciones de perforación. La filtración bajo condiciones dinámicas ocurre mientras el fluido de perforación está circulando. La filtración estática ocurre en otros momentos, durante las conexiones, los viajes o cuando el fluido no está circulando.

Entre los materiales para el control de filtrado se tienen:

Lignito: Este material es un lignito oxidado y su nombre se aplica a todos los lignitos oxidados que tienen un contenido del 80 % de ácido húmico. Este ácido se halla estrechamente asociado a compuestos de carboxil. El mineral se explota en cielo abierto dejándolo secar para que su contenido de humedad sea reducido a un 15 o 20 %. Finalmente se muele el producto.

Su función primaria es la de controlar filtrado a altas temperaturas y su función

secundaria es desflocular para reducir las altas viscosidades de los fluidos base agua, causadas por exceso de sólidos arcillosos. El pH del Lignito es naturalmente ácido (pH 5), por lo que se usa en sistemas de pH normal a alto y en lodos calados. Las altas temperaturas ayudan a la solubilidad del lignito y en altas concentraciones (10-15 lb/BB) se origina un sistema coloidal que forma un revoque bastante impermeable. Los lignitos pueden ser sencillos o complejos.

Sencillos: Se usan por lo general en fluidos de bajo pH (7,5-9,5). Los lignitos son menos solubles que los lignosulfonatos por carecer del grupo sulfonato. Sin embargo, su solubilidad se puede mejorar pretratándolos con soda cáustica en una relación de $\frac{6}{1}$. Esto hace que los lignitos se disuelvan en una forma más completa que los lignosulfonatos.

Complejos: Son los que se pretrataban con cromo, y se usaban en combinación con los lignosulfonatos para completar su efectividad y compensar los efectos nocivos de las altas temperaturas sobre las propiedades del fluido. El cromo permite extender el rango de temperatura de los adelgazantes químicos. Sin embargo, hoy en día está fuera de uso por el peligro que representa para la contaminación del medio ambiente y la salud.

4. FACTIBILIDAD DEL USO DE LA RESINA DE PLÁTANO.

Este capítulo está orientado a establecer la incidencia del uso de la resina de plátano como controlador de filtrado biodegradable en lodos de perforación base agua, como a la actual utilización de este subproducto de la cosecha de plátano; también se presenta el diseño experimental, obtención de resultados y análisis de estos, como una comparación con controladores de filtrado comerciales.

4.1 GENERALIDADES DE LA MATA DE PLÁTANO Y RESINA DE PLÁTANO.

El plátano es un importante sustento en la cadena básica alimenticia global, siendo el cuarto cultivo más importante del mundo, constituye una parte significativa de la economía en países en desarrollo, su industria genera considerables ingresos y es una fuente substancial de empleo.

Las exportaciones de plátano en el comercio internacional son provenientes del área de Latinoamérica y el Caribe. Entre los países latinoamericanos, Colombia es considerado el principal exportador de plátano en los mercados de Estados Unidos y la Unión Europea. El cultivo de plátano en Colombia, ocupa el quinto lugar de producción después del café, la caña de azúcar, la papa y las flores. Se estima que el 87% se encuentra como cultivo tradicional asociado con café, cacao, yuca y frutales; y el restante 13%, está como monocultivo tecnificado. Perteneciente al sector tradicional de la economía campesina y con alta dispersión geográfica, es de gran importancia socioeconómica desde el punto de vista de seguridad alimentaria y de generación de empleo, es el sustento de pequeños productores, quienes son propietarios de más de la mitad del área cultivada.

El plátano en Colombia constituye un producto básico de la canasta familiar, se consume desde verde hasta muy maduro, con preparaciones que varían en las distintas regiones del país, también se consume en forma de harina, como pasabocas en forma chips o snacks, y en un porcentaje muy bajo en procesos industriales.

4.1.1. Origen, evolución y distribución.

²² El plátano es una planta monocotiledónea y pertenece al orden Escitaminales, a la familia Musaceae, subfamilia Musoideae y al género Musa. El género Musa contiene entre 30 y 40 especies diploides . En la actualidad, solo dos especies tienen importancia comercial: Musa acuminata (plátano) y Musa balbisiana (banano).

El primero y crucial paso dentro de la evolución de las bananas y plátanos cultivados fue el desarrollo, bajo la selección del hombre, de la partenocarpia (capacidad de los frutos de desarrollarse sin polinización) y la esterilidad de semillas (debido a factores citogenéticos) en Musa acuminata.

De los cultivares AA, por restitución cromosómica en la meiosis, se formaron los triploides AAA, uno de los grupos de mayor importancia pues corresponden a los bananos que actualmente se siembran y comercializan en el mundo.

Otro importante paso dado en el sudeste asiático fue el cruce de cultivares AA con cultivares silvestres de M. balbisiana (BB), los cuales poseían cualidades de resistencia a condiciones ecológicas adversas y a enfermedades, y cuyos híbridos, no-solo adquirieron estas características favorables, sino que tuvieron un rango mayor de distribución geográfica que los AA.

Si bien es cierto que las Musáceas se originaron en el sudeste asiático, su distribución a nivel mundial solo ocurrió hace cerca de 2000 años.

²²CORPORACIÓN COLOMBIANA DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA-CORPOICA. MARTÍNEZ GARNICA, Alfonso. El cultivo de plátano en los llanos orientales. Aspectos generales y principales labores del cultivo del plátano. Colombia, Meta, 1998.

El plátano se siembra principalmente en África, llevado inicialmente a la zona oriental por inmigrantes indonesios vía Madagascar, y posteriormente trasladado a la costa occidental por los Portugueses, en donde tuvo gran acogida en los países que poseían condiciones ecológicas de trópico húmedo (Uganda y Ruanda producen mas del 70 % de la cosecha mundial).

En cuanto a la introducción del plátano en América, se cree que inicialmente fue llevado por los árabes a España y de ahí traídos a América directamente o vía Islas Canarias. Con motivo de la llegada del plátano a Colombia existen dos teorías:

- Fue traído a la zona del Darién de donde se difundió por toda la costa pacífica.
- Fue traído por los Padres Dominicos por el Orinoco y sembrado inicialmente en el municipio de San Martín, en los Llanos Orientales de Colombia.

4.1.2. Morfología del plátano.

²³ Las raíces de las especies del género *Musa* se originan en el cambium del cormo, formando grupos de 3 o 4, crecen horizontalmente y muy cerca de la superficie del suelo. El tallo es un cormo subterráneo, en él se originan las raíces y los pecíolos de las hojas, cuyo conjunto forma el seudotallo, el cual llega a medir hasta 4 m de altura.

Los pecíolos dan origen al folíolo, el cual es pequeño y alargado en los estados juveniles de la planta y posteriormente llega a medir hasta 1 m². En la parte superior del cormo esta ubicado el meristemo principal, el cual produce inicialmente las hojas (34 a 36 cuando se siembra el colino) para posteriormente producir el racimo. Este último se comunica con el cormo a través de una estructura tubular denominada raquis y es el encargado de transportar el racimo por el centro del seudotallo hasta

²³CORPORACIÓN COLOMBIANA DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA-CORPOICA. MARTÍNEZ GARNICA, Alfonso. El cultivo de plátano en los llanos orientales. Aspectos generales y principales labores del cultivo del plátano. Colombia, Meta, 1998.

hacerlo emerger en la parte superior de este.

Al emerger el racimo viene protegido por unas hojas modificadas llamadas brácteas, generalmente de color rojo y que al desprender se van descubriendo los grupos de flores tanto masculinas como femeninas, formándose a partir de estas últimas los frutos partenocárpicos.

El cormo que inicialmente se siembra se denomina comúnmente como planta madre y de cuyas yemas laterales darán origen a los brotes (los cuales son dominados hormonalmente por la planta madre y no permite que produzcan hojas con folíolo hasta que ocurra el cambio en su meristemo de vegetativo a reproductivo), que se utilizan como semilla asexual o para reemplazar la planta madre, una vez produzca esta el racimo.

4.1.3. Ecología de cultivo.

Clima: Las zonas tropicales son óptimas para el desarrollo del cultivo de plátano, ya que son húmedas y cálidas. Las condiciones climáticas donde se encuentran ubicadas las zonas de producción, afectan el crecimiento y desarrollo del cultivo. En Colombia se encuentran plantas de plátano en todas las regiones.

Altitud: La altitud influye sobre la duración del período vegetativo, sin embargo la altitud adecuada para la siembra de plátano está desde el nivel del mar hasta los 2.000 msnm. Para las condiciones ecológicas de Colombia, el período vegetativo del plátano se prolonga 10 días por cada 100 metros de altura sobre el nivel del mar.

Temperatura: La temperatura óptima para el cultivo de plátano es de 26°C. Este factor es el que más afecta la frecuencia de emisión de las hojas y puede alargar o acortar el ciclo vegetativo.

Precipitación: El cultivo de plátano requiere para su normal crecimiento y buena producción de 120 a 150 *mm* de lluvia mensual o 1.800 *mm* anuales, bien distribuidos. Las raíces del plátano son superficiales, por lo cual la planta se afecta con el más leve déficit de agua. No obstante, el fenómeno de inundación puede ser más grave que el mínimo déficit de agua, dado que se destruyen las raíces y se reduce el número de hojas y la actividad floral.

Vientos: Cuando éste excede los 20 *km/h*, produce ruptura o rasgado de las hojas, este fenómeno es común en los cultivos de plátano; el daño que involucra el doblamiento de las hojas activas es un riesgo para la producción de la planta.

Humedad relativa: Afecta al cultivo en forma indirecta, porque favorece la incidencia de enfermedades foliares en especial las de origen fungoso.

Luminosidad: La luz existente en el trópico es suficiente para el cultivo, pero es factor importante, entre otros, para el desarrollo de las yemas o brotes laterales, por lo que cortas distancias de siembra afectan el crecimiento de éstas y prolonga el ciclo vegetativo. Las musáceas, en su hábitat natural, crecen y se desarrollan satisfactoriamente en condiciones de semipenumbra, esto las protege de algunos problemas fitosanitarios como la sigatoka.

4.1.4. El suelo.

El suelo tiene influencia sobre el cultivo de plátano a través de sus características físicas y del suministro oportuno y balanceado de los elementos minerales esenciales requeridos para el metabolismo, crecimiento y producción de las plantas. El suelo, como recurso básico de todo ecosistema, debe cumplir, además de su función de soporte y espacio vital de las plantas, determinados requisitos de carácter fisicoquímico indispensables para éstas.

No obstante el plátano se adapta a una variedad amplia de suelos, esto no significa que todos los suelos sean aptos para su desarrollo equilibrado. La selección de

suelos adecuados es un factor fundamental para que el cultivo sea rentable. Para el crecimiento y desarrollo normal del plátano se necesita que el suelo tenga disponibles, en cantidades óptimas y balanceadas, ciertos elementos nutritivos; de lo contrario se deben suministrar a partir de fuentes alternativas orgánicas y químicas. Es importante, por tanto, conocer las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, mediante un muestreo y su análisis de fertilidad natural, ellos son la base de los planes de fertilización a aplicar en las fases de establecimiento, crecimiento y producción, con lo cual se aseguran los buenos resultados económicos.

La materia orgánica contenida en el suelo junto con el aire, agua y minerales, constituyen el conjunto de componentes orgánicos, de origen animal o vegetal, que se encuentran en diferentes estados de descomposición o transformación en la producción de humus. Éste actúa como acondicionador físico y activador de microorganismos a nivel de la rizosfera.

El manejo orgánico del suelo es la alternativa sostenible que permite vivir en armonía con la tierra, ya que mantiene la productividad del suelo y mejora sus características físicas, químicas y microbiológicas.

El efecto de la materia orgánica es latente y residual, su facultad de entregar progresivamente los nutrientes requeridos por la planta, contribuye a la sostenibilidad del suelo y le da importancia al uso de subproductos de origen orgánico como el lombricompost, compost, microorganismos benéficos, entre otros.

Tabla 4.1. Condiciones ecológicas favorables para el desarrollo de las variedades más cultivadas.

Variedad	T°C	Precipitación(mm/y)	Altitud(msnm)	pH suelo
Hartón	24-27	1500-2000	0-800	5.5-6.5
Dominico	20-30	1500-2000	0-1400	5.5-6.5
Dominico Hartón	15-32	1500-2000	0-2200	5.5-6.5

Fuente: CIED Modificada

4.1.5. Enfermedades de importancia económica en el cultivo de plátano.

²⁴ En los últimos años la productividad del cultivo de plátano se ha visto drásticamente afectada por la presencia y ataque de enfermedades como la sigatoka negra, bacteriosis y el moko. La problemática se agrava por la falta de prácticas adecuadas de cultivo por parte de los agricultores, la siembra de variedades susceptibles y el desconocimiento técnico sobre las enfermedades.

Sigatoka negra: Es la enfermedad foliar más destructiva que ataca el género *Musa*. Afecta solo las hojas del plátano y banano y es causada por el hongo *Micosphaerella fi jiensis* Morelet. Los efectos sobre la planta son: pérdida parcial o total del follaje, reducción del vigor, pérdida de peso de los racimos y maduración precoz de los mismos. Se caracteriza por la presencia de gran número de rayas y

Figura 4.1. Ataque de la sigatoka negra.



Fuente: Manejo sostenible del cultivo de plátano. CORPOICA

manchas más notorias por debajo de las hojas, las cuales aceleran el secamiento y

²⁴CORPORACIÓN COLOMBIANA DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA-CORPOICA. PALENCIA; Gildardo; GOMEZ, Raúl y MARTÍN, José. Manejo sostenible del cultivo de plátano. Colombia, Bucaramanga, 2006.

muerte del área foliar. La enfermedad evoluciona en la planta, al inicio presenta pequeñas manchas de color blanco amarillo a rojizo, que solo son visibles por el envés de la hoja, las cuales aumentan de tamaño, formando rayas de color marrón, que continúan alargándose hasta coalescer formando manchas oscuras redondeadas o elípticas en el envés y negras en el haz que empiezan a secarse, originando una depresión en el centro de la mancha rodeada generalmente de un halo amarillo. La lesión se rodea de un borde oscuro y de tejido clorótico, que va avanzando hasta cubrir toda la hoja.

Bacteriosis: Se le conoce también como pudrición acuosa. Es una enfermedad que se favorece por la época de verano, suelos pobres con deficiencias en potasio. Es causada por la bacteria *Erwinia chrysanthemi* pvr. *paradisiaca*, que ocasiona pudrición del pseudotallo y posterior doblamiento del mismo. Se presenta sólo en

Figura 4.2. Ataque de bacteriosis en pseudotallo



Fuente: Manejo sostenible del cultivo de plátano. CORPOICA

el pseudotallo y en cualquier estado de desarrollo de la planta. Se observan lesiones acuosas, de color amarillento al comienzo y color oscuro al final, de olor fétido. Normalmente la enfermedad aparece en la mitad del pseudotallo y avanza hacia el centro y hacia abajo hasta llegar al cormo. Como consecuencia de la obstrucción de

los tejidos, las hojas se van amarillando hasta secarse totalmente.

La enfermedad se transmite de una planta enferma a una sana principalmente durante el deshoje, por medio de las herramientas.

Moko: También se le conoce como maduraviche o pringue. Es una enfermedad causada por la bacteria *Ralstonia solanacearum*, la cual puede sobrevivir en el suelo por un tiempo prolongado. Se propaga por medio de la semilla y produce en las plantas afectadas pérdida total de la producción. La enfermedad se inicia

Figura 4.3. Ataque por moko o maduraviche



Fuente: Manejo sostenible del cultivo de plátano. CORPOICA

por focos, que afectan las plantas vecinas sanas a través del contacto de raíces, suelo, herramientas, agua e insectos que visitan las flores de las plantas vecinas. En plantas jóvenes el síntoma inicial es el amarillamiento de la hoja bandera, que posteriormente se marchita y se seca. Los síntomas son progresivos desde las hojas más jóvenes hasta las más viejas. Cuando se presenta en el racimo este se madura prematuramente presentando una pudrición parda y seca. Al hacer cortes de los tejidos afectados o al desprenderse las brácteas, en la cicatriz hay exudación de la bacteria en forma de pequeñas gotas de color blanco.

Picudo negro (*Cosmopolites sordidus* Germen): Es considerada la plaga más importante del plátano y banano; se encuentra en todas las zonas productoras de Colombia. El adulto es un cucarrón negro de 1.5 a 2.0 centímetros de longitud, la cabeza presenta un pico largo y curvo con dos antenas grandes. El adulto recién formado tiene coloración rojiza que a medida que se envejece cambia a gris para terminar negro.

Las hembras ovopositan más de 60 huevos, que son colocados en forma individual en las heridas de la zona basal. La larva emerge y de una vez empieza a taladrar el cormo, haciendo galerías que degeneran la planta, causan amarillamiento en las hojas, disminuye el peso de los racimos, reduce la emisión de colinos y contribuye al deterioro general del cultivo de plátano. Cuando llega a la madurez se empupa dentro de las galerías. Los adultos son de hábitos nocturnos y pueden vivir más de un año.

Gusano tornillo (*Castniomera humboldti*): Es una plaga que presenta una alta incidencia en las zonas plataneras y su daño es a través de perforaciones tanto en el cormo como en el vástago, las cuales son vía de entrada para el ataque de otros insectos y patógenos, ocasionando disminución en los rendimientos y en la calidad de la producción.

El adulto es una mariposa de color café con bandas y manchas blancas en las alas. Pone los huevos sobre la base de las calcetas y colinos, de los cuales salen las larvas de color crema y cabeza marrón, parecidas a un tornillo. La larva alcanza una longitud de 6 centímetros y penetra al interior delseudotallo y el cormo, haciendo galerías que impiden el desarrollo del racimo. La presencia del insecto se caracteriza por una masa gelatinosa secretada por la planta, producto de la liberación al exterior de las excreciones de las larvas a través de los agujeros practicados por éstas.

Nemátodos: Son parásitos que se establecen en las raíces principales y secundarias, formando nudosidades. Las plantas afectadas presentan clorosis y no responden a la aplicación de fertilizantes. La mayoría de las variedades de plátano y banano son susceptibles al ataque de nemátodos, los cuales atacan y destruyen las raíces impidiendo la absorción de nutrientes y agua a la planta, además propician el volcamiento. El *Radopholus similis*, es el más importante no solo por su dinámica poblacional sino por el tipo de daño que causa en las raíces.

4.1.6. Variedades de plátano.

²⁵ ²⁶ En Colombia, se cultivan cinco variedades de plátano: dominico, dominico-hartón, hartón, cachaco y pelipita. El plátano hartón se cultiva principalmente en los Llanos Orientales y en la Costa Atlántica y es el de mayor aceptación en los mercados nacional e internacional.

Las variedades dominico hartón y hartón son las que presentan el mayor potencial para el procesamiento debido, principalmente, a que el clima cálido en que se producen favorece el desprendimiento de la cáscara, labor que resulta bastante dispendiosa en el procesamiento del producto. Igualmente, según las empresas procesadoras, se presentan diferencias entre el plátano dominico hartón y el plátano hartón en cuanto al tamaño y al contenido de agua (mayores en la variedad hartón) y de sólidos solubles (mayor en la variedad dominico hartón).

Plátano tipo hartón: De características excepcionales para la exportación, por cumplir con todos los requisitos de calidad exigidos; presenta además ventajas comparativas por ser de porte bajo, característica que lo hace ideal para zonas de

²⁵CORPORACIÓN COLOMBIANA DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA-CORPOICA. OROZCO CORTÉS, María Rubí. El cultivo de plátano en la zona del Darién. Antioquia, Colombia, 2000.

²⁶CORPORACIÓN COLOMBIANA DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA-CORPOICA. PALENCIA; Gildardo; GÓMEZ, Raúl y MARTÍN, José. Manejo sostenible del cultivo de plátano. Colombia, Bucaramanga, 2006.

vientos fuertes. Sin embargo es tan susceptible a sigatoka negra como el hartón tradicional en la región. Sus características más relevantes son:

Figura 4.4. Plátano tipo hartón



Fuente:El cultivo de plátano en la zona del Darién. Antioquia. CORPOICA

- **Origen:** África
- **Días a floración:** 240-260 (8-9 meses)
- **Días a cosecha:** 317-337 (10-11 meses)
- **Altura:** 2-2.2 *m*
- **Perímetroseudotallo:** 0.45 *m*
- **Color:** Verde
- **Peso de racimo:** 12-14 *Kg*
- **Número de manos:** 6
- **Número de dedos:** 28-32
- **Longitud:** 11-10 *in*

Plátano tipo dominico: Con resistencia a Sigatoka Negra, Fusarium, altos rendimientos, excelente calidad y susceptible a Radopholus similis y Pratylenchus coffeae. Son plantas de gran altura, exhuberantes, tolerantes a los vientos y con un sistema radicular bien desarrollado.

Figura 4.5. Plátano tipo dominico



Fuente:El cultivo de plátano en la zona del Darién. Antioquia. CORPOICA

- **Origen:** FHIA HONDURAS
- **Días a floración:** 300-380 (10 y 12 meses)
- **Días a cosecha:** 391-464 (13 - 14 meses)
- **Altura:** 3.2 y 4.5 *m*
- **Perímetroseudotallo:** 0.53 *m*
- **Color:** Verde
- **Peso de racimo:** 20-30 *Kg*
- **Número de dedos:** 130-160
- **Longitud:** 11-10 *in*

- **Peso dedos (desmane a 5 manos): 250-370 g**

4.1.7. Producción de plátano en el mundo.

Por razones agroclimáticas, el cultivo del plátano está concentrado en África y América latina y el Caribe. Las regiones más productoras en el mundo están en Africa y América Latina. Los cuatro países de mayor producción en el continente Africano en su orden son Uganda, Ruanda, Ghana y Nigeria.

Casi la totalidad del plátano que se comercia a escala internacional se produce en América Latina, siendo los mayores países exportadores Colombia, Venezuela, Costa Rica y Ecuador.

En el concierto internacional, el mercado de plátano está orientado básicamente a satisfacer a la población étnica tanto de Estados Unidos como de Europa. Los principales países exportadores de plátano, tradicionalmente, han comercializado este producto junto con el banano, por lo que resulta común enviarlos conjuntamente, para aprovechar la logística y el transporte existente para la exportación de esta fruta. En el mercado europeo los países africanos, como Ghana, han incursionando recientemente y su participación es todavía muy pequeña.

Tabla 4.2. Producción mundial de plátano (Millones de tonelada)

Países	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	% 1999	Cre. 90/99
Uganda	7.8	8.1	7.8	8.2	8.5	9	9.1	9.3	9.3	9.4	31	23
Ruanda	2.8	3.1	3.5	2.1	1.5	2	2.1	2.2	2.6	2.9	9	-1.6
Colombia	2.5	2.6	2.7	2.7	2.5	2.9	2.8	2.8	2.6	2.7	9	0
Ghana	0.8	1.2	1.1	1.3	1.5	1.6	1.8	1.8	1.9	2	7	9.3
Nigeria	1.2	1.3	1.4	1.6	1.7	1.7	1.7	1.7	1.8	1.9	6	4.2
Rep. del Congo	2.1	2.1	2.1	2.2	2.3	2.4	2.1	1.9	1.9	1.8	6	-1.6
Costa de Marfil	1.2	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	5	2.1
Perú	0.7	0.8	0.7	0.7	0.8	1.1	1.3	1.3	1.3	1.3	4	8.9
Camerún	0.9	0.9	0.9	0.9	1	1	1	1	1	1	3	2
Tanzania	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.6	0.5	0.9	0.8	0.8	2	-1
Otros	5.5	5.5	5.6	5.5	5.7	5.2	5.7	5.6	5.4	5.4	18	0
Mundo	26.3	27.5	28	27.3	27.5	29	29.5	30.1	30	30		1.5

Fuente: Acuerdo de competitividad de la cadena productiva del plátano en Colombia. CORPORACIÓN COLOMBIANA INTERNACIONAL

La mayor parte de la producción mundial de plátano se destina prácticamente a satisfacer el consumo interno de los países productores y tan sólo el 1.0% se comercializa en los mercados internacionales para satisfacer la demanda de los consumidores de origen latino y en menor proporción, el africano.

Se estima que 10% del plátano importado por los Estados Unidos es destinado al procesamiento, cuyo consumo ha ido presentado una tendencia creciente ya que en el periodo comprendido entre los años 1991 a 1995, presentó un incremento de 15%. El consumo de este tipo de producto sigue siendo dirigido a las comunidades de origen latinoamericana o africana. Además se está insistiendo en llegarle al consumidor de origen anglosajón que componen la mayoría de la población estadounidense, convirtiéndose en el mercado potencial más apetecido por los exportadores de este producto.

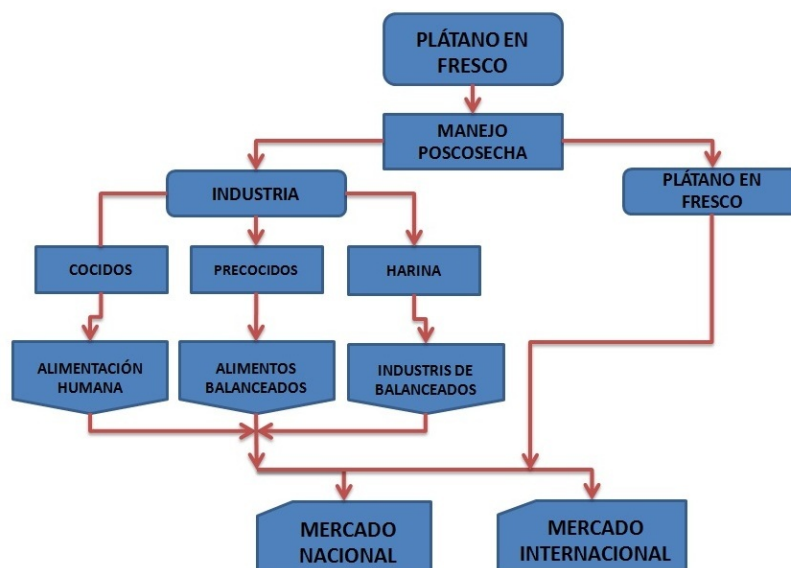
En cuanto al mercado de la Unión Europea, los principales países importadores son Holanda, Bélgica y España, que, además, re exportan el producto a los mercados de la Unión Europea. El mercado del plátano verde en la Unión Europea es pequeño y se mantiene estable porque la demanda proviene de comunidades de origen latinoamericana, caribeña o africana. Los proveedores más importantes son Colombia y Costa Rica, ya que algunos países africanos tienen una participación marginal en este mercado (CCI 1998).

4.1.8. La cadena del plátano en Colombia.

²⁷ En la Cadena productiva se destacan cuatro eslabones básicos, los agricultores o productores primarios, los comercializadores que abastecen el mercado interno, los industriales y los exportadores.

²⁷CORPORACIÓN COLOMBIANA INTERNACIONAL-CCI. SECRETARÍA TÉCNICA. Acuerdo de competitividad de la cadena productiva del plátano en Colombia. Colombia, Bogotá, 2000.

Figura 4.6. La cadena del plátano



Fuente:El cultivo de plátano en la zona del Darién. Antioquia. CORPOICA

Asimismo, alrededor de la actividad productiva o comercial desempeñada por cada uno de estos eslabones, existen diversas actividades económicas conexas, que se sustentan en la prestación de servicios de apoyo o en el suministro de materiales e insumos necesarios para el desarrollo de las actividades de la Cadena productiva platanera, tales como proveedores de insumos, empresas prestadoras de servicios y actores de la institucionalidad estatal y paraestatal que suministran servicios de apoyo tecnológico, comercial, etc.

En cuanto a los procesos que sigue el circuito de la Cadena productiva del plátano, el eslabón primario se origina en las fincas productoras en las cuales se obtiene el producto en fresco, el cual después del manejo de poscosecha, inspección, selección y clasificación es llevado al mercado nacional, e internacional, para ser consumido en fresco o para ser utilizado en la agroindustria como materia prima para la fabricación de plátanos deshidratados o congelados, pasabolas (snacks), harinas, alimentos concentrados para animales.

Estos productos industriales son distribuidos, de acuerdo a sus características, en los mercados nacionales e internacionales por distribuidores mayoristas y minoristas hasta llegar al consumidor final. El producto en fresco también es comercializado en los mercados nacionales e internacionales, especialmente Estados Unidos y La Unión Europea, a través de distribuidores mayoristas y minoristas.

La Cadena productiva de plátano cuenta actualmente con tres acuerdos de competitividad: uno firmado a nivel nacional en el 2002; un acuerdo regional en Córdoba del 2001; y otro en el Eje Cafetero, que cubre los departamentos de Caldas, Risaralda, Quindío, Norte del Valle del Cauca y Norte de Tolima, firmado en el 2002

4.1.9. Producción de plátano en Colombia.

²⁸ ²⁹ Colombia es considerado el principal exportador de plátano a los mercados de Estados Unidos y la Unión Europea, participa con 8.7% de la producción mundial de plátano, con un comportamiento relativamente estable en los últimos años, alcanzando 2.7 millones de toneladas en 1999, según cifras preliminares del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. De esta cifra, el 95% está relacionado con el mercado interno y el resto a la exportación.

Para el año 2002, la producción de plátano representó el 12,4% del valor de la producción agrícola sin café, y el 19,3% del total de cultivos permanentes. El plátano de exportación ocupa el 0.36% del área agrícola total y el 0.4% de la producción del país, mientras que el plátano de consumo interno lo hace con el 9.8% del área y el 12.8% de la producción. El plátano (consumo interno y exportación) obtuvo un área total de cultivo 392.990 Ha. y un nivel de producción de 3.107.550 toneladas

²⁸ CORPORACIÓN COLOMBIANA INTERNACIONAL-CCI. SECRETARÍA TÉCNICA. Acuerdo de competitividad de la cadena productiva del plátano en Colombia. Colombia, Bogotá, 2000.2.

²⁹ RODRÍGUEZ MARTÍNEZ, J.L Y RODRÍGUEZ SAAVEDRA, A. Aspectos socioeconómicos del cultivo de plátano en Colombia. En: INFOMUSA, La revista internacional sobre Banano el plátano. Junio, 2001. Vol. 10, no 1, p. 4-9.

en el 2002, mientras que el banano (exportación y consumo interno) alcanzó una superficie cultivada de 54.334 hectáreas y una producción de 1.545.565 toneladas. Los tres grandes sectores que consumen más del 80 % de la producción nacional son, en orden de importancia, los hogares rurales, los hogares urbanos y los restaurantes; menos del 1 % es consumido por la industria y las pérdidas por comercialización y transporte se estiman en 12 %.

Los departamentos con mayor área cosechada y producción en el ámbito nacional son: Antioquia, Quindío y Tolima que participan con 14 %, 10 %, y 9 % del área en producción respectivamente. En cuanto a producción, el Quindío y Antioquia participan con el 14 % y Tolima con 10 %. De la producción de plátano 81 % proviene del sistema asociado con café, 15 % de monocultivo y 4 % intercalado con otros cultivos.

4.2 RECOLECCIÓN, PRUEBAS DE PRESERVACIÓN Y COMPATIBILIDAD DE LA RESINA DE PLÁTANO

4.2.1. Recolección de la resina de plátano.

Para poder llevar a cabo los experimentos necesarios para comprobar la efectividad de la resina de plátano, hay que extraer la resina de forma eficiente. Es por ese motivo que se hace uso del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la escuela de Ingeniería Química, en dicho laboratorio se encuentra la maquina extrusora de rodillos Berstor AF (Figura 4.7).

Como todo trabajo de laboratorio, es necesario establecer un procedimiento que garantice el éxito de la operación, por eso es necesario acceder al laboratorio de operaciones unitarias y establecer dicho procedimiento basándose en las recomendaciones dadas por los laboratoristas.

Figura 4.7. Maquina Extrusora de Rodillos Berstor AF.



Fuente: Los Autores

Procedimiento para la extracción de la Resina de Plátano utilizando la Maquina Extrusora de rodillos Berstor AF:

- Verificar funcionalidad mecánica de la maquina extrusora de rodillos Berstor AF.
- Limpiar la maquina extrusora de rodillos Berstor AF con alcohol industrial al 90 %.
- Lijar los rodillos con una lija de agua numero 400.
- Limpiar, de nuevo, los rodillos con alcohol industrial al 90 %.
- Limpiar la bandeja de recolección con alcohol industrial al 90 %.
- Esperar que el alcohol de evapora en su totalidad de la maquina extrusora de rodillos Berstor AF (Tiempo recomendado 30 minutos).
- Teniendo disponibles los vástagos de la mata de plátano, limpiarlos con un paño y agua destilada, con el objetivo de retirar cualquier contaminante.

- Cortar los vástagos en pedazos de longitudes superiores a 18 (in) e inferiores a 24 (in)
- Pesar los vástagos.
- Cada vástago cortarlo longitudinalmente.
- Separar los vástagos en las capas que lo conforman.
- Introducir dichas capas en la maquina extrusora de rodillos Berstor AF.
- Con cada vástago procesado, determinar el volumen de fluido recolectado, para esto utilizar un colador para separa fase solida de la liquida, y determinar dicho volumen con una bureta.
- Pesar el vástago procesado.
- Almacenar el fluido en una pimpina recolectora.
- Repetir los pasos del 8 al 15 hasta terminar la totalidad de los vástagos disponibles.
- Finalizado el proceso limpiar la maquina extrusora de rodillos Berstor AF con alcohol industrial al 90 %.

4.2.2. Aplicación del Procedimiento.

Aplicando el Procedimiento para la extracción de la Resina de Plátano a la variedad **Plátano tipo dominico**, debido a sus características de resistencia a enfermedades y alta rentabilidad, se utiliza la Maquina Extrusora de rodillos Berstor AF a tres vástagos con las siguientes características:

Tabla 4.3. Medidas de los Vástagos Procesados.

Vástago	Diámetro Mayor (in)	Diámetro Inferior (in)	Longitud (in)
1	5 1/2	2	77
2	4 1/4	1/4	68
3	6	23/4	80

Fuente: Los Autores.

se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 4.4. Medidas de Control de los Vástagos Procesados.

Sección	Masa inicial (Kg)	Masa final (Kg)	Volumen (mL)
1	1.250	0.890	360
2	1.300	0.950	350
3	1.320	0.950	370
4	1.420	0.980	380
5	1.500	1.100	400
6	1.510	1.100	410
7	1.530	1.110	420
8	1.400	0.990	410
9	1.410	1.090	320
10	1.400	1.090	310
11	1.380	1.050	330
Masa Total Inicial (Kg)			15.420
Masa Total Final (Kg)			11.300
Volumen Total Recuperado (mL)			4060

Fuente: Los Autores

Siguiendo el procedimiento establecido, se continua a almacenar la resina de plátano recuperada en una pimpina, previamente limpia con agua destilada y alcohol industrial al 90 % alrededor de una hora antes de comenzar este procedimiento de laboratorio para que el alcohol se evapore con el agua asociada y evitar posibles fuentes de contaminación. Los desechos productos del desarrollo del laboratorio se pusieron a disposición del sistema de recolección de desechos de la UIS.

Figura 4.8. Resina de Plátano Recuperada.



Fuente: Los Autores

4.2.3. Conservación de la resina de plátano

Para conservar la resina de plátano a condiciones ambientales se determino utilizar un tratamiento químico, el cual consta de la utilización de un bactericida al cual llamaremos B1, el cual es utilizado en lodos de perforación.

Tabla 4.5. Dosificación de B1.

Producto	Dosificación Recomendada (lb/BB)	Volumen de Resina Tratada (BB)
B1	0,5	11,6

Fuente: Los Autores

4.2.4. Pruebas de compatibilidad y preservación.

Para esta fase del proyecto se hicieron las siguientes pruebas de compatibilidad y preservación:

Figura 4.9. Bactericida B1



Fuente: Los Autores

Tabla 4.6. Relación de pruebas de compatibilidad y Preservación.

Prueba	Aditivo	Concentración (lb/BB)	Tipo de Prueba
1	B1	0.5	Preservación
2	Bentonita	31	Compatibilidad
3	Termathin	4	Compatibilidad
4	Bicarbonato	0.5	Compatibilidad
5	NaOH	0.5	Compatibilidad
6	Lignox	2	Compatibilidad
7	CaCo3	1.6	Compatibilidad

Fuente: Los Autores

4.2.5. Resultados de la preservación de la resina de plátano

Esta fase consta de un análisis comparativo entre dos muestras, una tratada con B1 y otra sin tratar, con el objetivo de determinar el tiempo de vida útil en el cual la resina conserva sus propiedades iniciales, las cuales se consideran las idóneas para considerarse como un controlador de filtrado efectivo para lodos de perforación base agua. Como parámetros de control se asumió el pH y propiedades organolépticas.

Figura 4.10. Registro Grafico de las Pruebas Realizadas.



Fuente: Los Autores

Tabla 4.7. Convención del tratamiento

Descripción	Convención
Resina de Plátano Tratada con B1	R.P.T
Resina de Plátano sin Tratar	R.P.S.T

Fuente: Los Autores

Tabla 4.8. Control de Preservación 01

Día 01	
R.P.T	R.P.S.T
pH= 7,2	pH= 7,2
Olor= Dulce	Olor= Dulce
Color= Marrón	Color= Marrón
Presencia de Colonias de Hongos= No	Presencia de Colonias de Hongos= No
Observaciones= Ninguna en particular	Observaciones= Ninguna en particular

Fuente: Los Autores

Figura 4.11. Degradación de la R.P.T Día 01



Fuente: Los Autores

Figura 4.12. Degradación de la R.P.S.T Día 01



Fuente: Los Autores

Tabla 4.9. Control de Preservación 02

Día 02	
R.P.T	R.P.S.T
pH= 7,2	pH= 6,7
Olor= Dulce	Olor= Dulce
Color= Marrón	Color= Marrón
Presencia de Colonias de Hongos= No	Presencia de Colonias de Hongos= No
Observaciones= Ninguna en particular	Observaciones= Separación de una fase solida, al abrir el recipiente de almacenamiento hay salida de gases.

Fuente: Los Autores

Tabla 4.10. Control de Preservación 03

Día 03	
R.P.T	R.P.S.T
pH= 7	pH= 5,3
Olor= Dulce	Olor= Azufrado
Color= Marrón	Color= Amarillo
Presencia de Colonias de Hongos= No	Presencia de Colonias de Hongos= Si
Observaciones= Ninguna en particular	Observaciones= Observaciones= Separación de una fase solida, al abrir el recipiente de almacenamiento hay salida de gases.

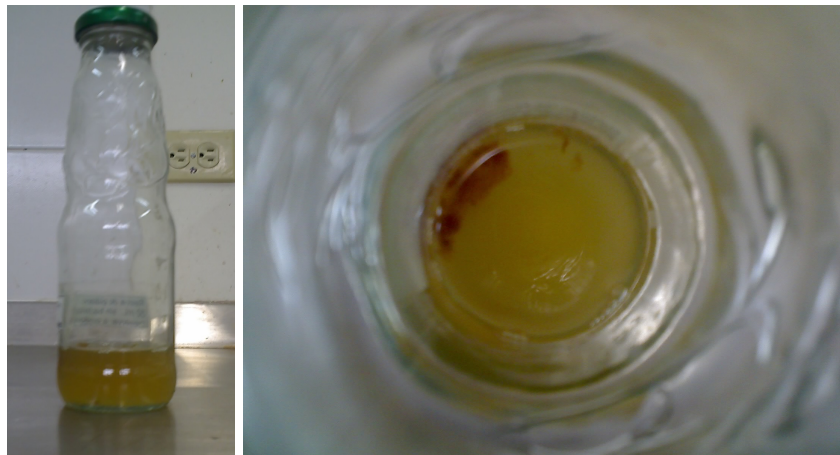
Fuente: Los Autores

Figura 4.13. Degradación de la R.P.T Día 03



Fuente: Los Autores

Figura 4.14. Degradación de la R.P.S.T Día 03



Fuente: Los Autores

Tabla 4.11. Control de Preservación 04

Día 04	
R.P.T	R.P.S.T
pH= 6,98	pH= 4,9
Olor= Dulce	Olor= Azufrado
Color= Marrón	Color= Amarillo
Presencia de Colonias de Hongos= No	Presencia de Colonias de Hongos= Si
Observaciones= Ninguna en particular	Observaciones= La fase solida es plenamente identificable, sigue habiendo salida de gases al abrir el recipiente de almacenamiento.

Fuente: Los Autores

Tabla 4.12. Control de Preservación 05

Día 05	
R.P.T	R.P.S.T
pH= 6,8	pH= 4,52
Olor= Dulce	Olor= Azufrado
Color= Marrón	Color= Amarillo
Presencia de Colonias de Hongos= No	Presencia de Colonias de Hongos= Si
Observaciones= Separación de una fase solida, al abrir el recipiente de almacenamiento hay salida de gases.	Observaciones= La fase solida se está consumiendo, posiblemente es fuente de alimento de las colonias de hongos presentes, sigue habiendo salida de gases al abrir el recipiente de almacenamiento.

Fuente: Los Autores

Figura 4.15. Degradación de la R.P.T Día 05



Fuente: Los Autores.

Figura 4.16. Degradación de la R.P.S.T Día 05



Fuente: Los Autores

Tabla 4.13. Control de Preservación 06

Día 06	
R.P.T	R.P.S.T
pH= 6,5	pH= 4,3
Olor= Azufrado	Olor= Azufrado
Color= Amarillo	Color= Amarillo
Presencia de Colonias de Hongos= No	Presencia de Colonias de Hongos= Si
Observaciones= Separación de una fase solida, al abrir el recipiente de almacenamiento hay salida de gases.	Observaciones= La fase solida se está consumiendo, posiblemente es fuente de alimento de las colonias de hongos presentes, sigue habiendo salida de gases al abrir el recipiente de almacenamiento.

Fuente: Los Autores**Tabla 4.14.** Control de Preservación 07

Día 07	
R.P.T	R.P.S.T
pH= 5,1	pH= 4,1
Olor= Azufrado	Olor= Azufrado
Color= Amarillo	Color= Amarillo
Presencia de Colonias de Hongos= Si	Presencia de Colonias de Hongos= Si
Observaciones= La fase solida es plenamente identificable, sigue habiendo salida de gases al abrir el recipiente de almacenamiento.	Observaciones= La fase solida ha sido consumida en su totalidad, sigue habiendo salida de gases al abrir el recipiente de almacenamiento.

Fuente: Los Autores

Tabla 4.15. Control de Preservación 08

Día 08	
R.P.T	R.P.S.T
pH= 4,57	pH= 3,97
Olor= Azufrado	Olor= Azufrado
Color= Amarillo	Color= Amarillo
Presencia de Colonias de Hongos= Si	Presencia de Colonias de Hongos= Si
Observaciones= La fase solida es plenamente identificable, sigue habiendo salida de gases al abrir el recipiente de almacenamiento.	Observaciones= Sigue habiendo salida de gases al abrir el recipiente de almacenamiento.

Fuente: Los Autores

Tabla 4.16. Control de Preservación 09

Día 09	
R.P.T	R.P.S.T
pH= 4,33	pH= 3,49
Olor= Azufrado	Olor= Azufrado
Color= Amarillo	Color= Amarillo
Presencia de Colonias de Hongos= Si	Presencia de Colonias de Hongos= Si
Observaciones= La fase solida ha sido consumida en su totalidad, no hay salida de gases al abrir el recipiente de almacenamiento.	Observaciones= No hay salida de gases al abrir el recipiente de almacenamiento

Fuente: Los Autores

Como se puede observar y analizar, el tiempo de vida útil para la resina de plátano sin tratamiento químico es de un día y con tratamiento químico es de cinco días, cabe aclarar que las muestras fueron estudiadas a condiciones ambientales de temperatura, y las botellas de almacenamiento fueron esterilizadas previamente.

4.2.6. Resultados de Compatibilidad de la Resina de Plátano.

En esta fase se harán pruebas de compatibilidad con aditivos para lodos de perforación más comunes, estas pruebas se harán en botellas previamente esterilizadas con alcohol industrial al 90% y agua destilada, ser reportaran en periodos diarios durante el tiempo de vida útil determinado en la anterior prueba.

Tabla 4.17. Compatibilidad con Bentonita a 31(lb/BB).

Día	Observaciones
1	La mezcla es homogénea de color gris, sin olor y con alta viscosidad.
2	Hay presencia de espuma, la fase líquida es de color gris y con alta viscosidad.
3	El nivel de referencia aumento en un 30% aproximadamente, la fase líquida es de color gris oscuro y con alta viscosidad, no hay separación en la fase líquida.
4	El nivel de referencia aumento en un 50% aproximadamente, hay separación de la fase líquida, la capa inferior de líquido es de color amarillenta y el olor es azufrado, la fase líquida es de color gris oscuro y con alta viscosidad.
5	El nivel de referencia aumento en un 60% aproximadamente, hay separación total de la fase líquida, la capa inferior de líquido es de color amarillenta y el olor es azufrado, la fase líquida es de color gris oscuro y con alta viscosidad.

Fuente: Los Autores

Tabla 4.18. Compatibilidad con Termathin a 4(lb/BB).

Día	Observaciones
1	La mezcla es homogénea de color marrón, sin olor y baja viscosidad.
2	Hay una pequeña separación de fases, la capa inferior de líquido es de color marrón oscuro y la superior es de color marrón claro, no se detectan olores y posee baja viscosidad.
3	La separación de fases es muy evidente con un distribución aproximada de un 50/50, se detecta un ligero olor azufrado, al abrir la botella hay salida de gases, el líquido posee baja viscosidad.
4	La distribución de las fases es de un 30/70, donde la fase más oscura es la de menor volumen, el olor es a azufre es más evidente, sigue habiendo salida de gases al abrir la botella de almacenamiento y la viscosidad sigue siendo baja.
5	La distribución de las fases sigue igual, no posee olor, no hay aparente presencia de gases al abrir la botella, la viscosidad es baja.

Fuente: Los Autores

Tabla 4.19. Compatibilidad con Bicarbonato a 0.5(lb/BB).

Día	Observaciones
1	La mezcla no es homogénea, hay presencia de algunos grumos.
2	Hay separación de fases, una pequeñas capa de sólidos se ha depositado en la parte inferior de la botella, y la fase líquida también presenta una separación con un distribución de 20/80 donde la de menor volumen tiene un color amarillo y se deposita entre la fase sólida y la fase líquida de mayor volumen que tiene un color marrón oscuro.
3	Hay separación de fases, la fase sólida sigue igual depositada en la parte inferior de la botella, y la fase líquida también presenta la separación con un distribución de 30/70 y misma coloración, al abrir la botella hay salida de gases, el olor es azufrado.
4	La separación de las fases siguen iguales, sin cambios aparente entre su distribución, el olor azufrado es más evidente, al abrir la botella hay salida de gases.
5	La separación de las fases siguen iguales, sin cambios aparente entre su distribución, el olor azufrado ha disminuido, casi imperceptible, al abrir la botella no hay salida de gases.

Fuente: Los Autores

Tabla 4.20. Compatibilidad con NaOH a 0.5(lb/BB).

Día	Observaciones
1	La mezcla es homogénea, sin olor, de color marrón.
2	La mezcla presenta separación de fases líquidas con una distribución aproximada de 10/90 donde la fase de menor volumen posee un color claro, sin olor.
3	La distribución de las fases es de 30/70 aproximadamente, con un ligero olor azufrado, no hay aparente acumulación de gases en la botella.
4	La distribución de las fases es de 40/60 aproximadamente, el olor azufrado es más evidente, al abrir la botella hay salida de gases.
5	La distribución de las fases sigue igual, no hay olor y no hay aparente acumulación de gases en la botella.

Fuente: Los Autores

Tabla 4.21. Compatibilidad con Lignox a 2(lb/BB).

Día	Observaciones
1	La mezcla es homogénea, de color marrón oscuro, sin olor.
2	La mezcla es homogénea, de color marrón oscuro, se detecta un ligero olor azufrado.
3	La mezcla no es homogénea donde la distribución es de un 10/90 donde la fase de menor volumen es de color marrón claro, el olor a azufre es más evidente, hay salida de gases al abrir la botella.
4	Las características de la mezcla siguen constantes
5	La distribución y características de la mezcla sigue constante, el olor a azufre no se detecta y al abrir la botella no hay salida de gases.

Fuente: Los Autores

Tabla 4.22. Compatibilidad con $CaCo_3$ a 1.6(lb/BB).

Día	Observaciones
1	La mezcla es homogénea, con color marrón, sin olor y baja viscosidad.
2	La mezcla es homogénea, con color marrón, sin olor y baja viscosidad.
3	Hay separación de fases líquidas con una distribución de 10/90 una es más clara que la otra, sin olor y baja viscosidad.
4	Hay separación de fases líquidas con una distribución de 20/80 una es más clara que la otra, sin olor y baja viscosidad.
5	Hay separación de fases líquidas con una distribución de 30/70 una es más clara que la otra, sin olor y baja viscosidad.

Fuente: Los Autores

4.3 DISEÑO EXPERIMENTAL

Para poder determinar el verdadero efecto que hay en un sistema por la adición de un nuevo componente, se debe cuantificar las variables para poder determinar cómo este nuevo componente afecta el sistema.

En el caso de los lodos de perforación hay suficientes variables como para cometer un error, temperatura, presión, agentes pesantes, agentes viscosificantes, agentes químicos y por supuesto los contaminantes, para este proyecto se definieron las variables independientes, las variables dependientes y variables de bloqueo.

4.3.1. Definición de Variables.

Variables independientes: En este caso, como el objetivo es determinar la incidencia de la resina de plátano en lodos de perforación base agua, la concentración de esta en libras por barril (lb/BB) es definido como la variable

independiente con una variación de $2^a(lb/BB)$, donde (a) es el número de experimentación, el cual es $1 \leq a \leq 5$.

Tabla 4.23. Convención para concentración de la Resina de Plátano.

lb/BB	Convención
2	C1
4	C2
8	C3
16	C4
32	C5

Fuente: Los Autores

Variables dependientes: Son aquellos parámetros de control que varían, con respecto a la variable independiente, para el caso de los lodos de perforación hemos definido como variables dependiente al filtrado API (mL), comportamiento químico ($Mf, Pf, Cl^-, Ca^{++}, pH$), comportamiento reológico, densidad del lodo y características físicas de la torta de lodo.

Variables de bloqueo: Como los lodos de perforación base agua están constituidos por agentes viscosificantes, agentes químicos, contaminantes entre otros, estos serán definidos como la variables de bloqueo, y su dosificación será dada en base de información comercial y académica.

4.3.2. Cuantificación de las variables de bloqueo.

Estas variables fueron definidas conforme al inventario del Laboratorio de lodos y cementos, recomendaciones comerciales y análisis matemático.

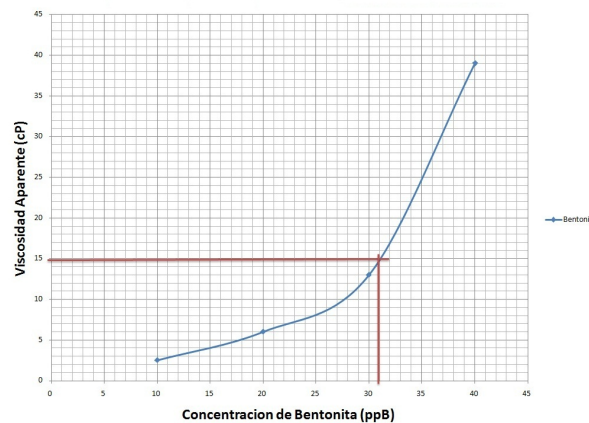
Agente viscosificante: Como agente viscosificante definimos a la Bentonita con una concentración que produzca una viscosidad aparente de 15(cp).

Tabla 4.24. Determinación de Concentración de Agente Viscosificante.

Concentración	θ 600 (lb/100ft ²)	Viscosidad Aparente (cp)
10	5	2,5
20	12	6
30	28	14
40	78	39

Fuente: Los Autores

Figura 4.17. Viscosidad Aparente Vs Concentración de Bentonita



Fuente: Los Autores

En base en la información obtenida se determina que el rendimiento de la bentonita es de 65 barriles por tonelada lo que equivale a una concentración aproximada de 31(lb/BB), este se define como el lodo base (L.B).

Agentes controladores de filtrado: En el laboratorio de lodos y cementos se cuenta con C.F.S y C.F.F como agentes de control de filtrado, se utiliza en

concentraciones mínimas comercialmente recomendadas, esto con el objetivo de comparar la efectividad de la resina de plátano como controlador de filtrado.

Tabla 4.25. Concentración de Agentes Controladores de Filtrado.

Agente Controlador de Filtrado	Concentración (lb/BB)
C.F.S	0,5
C.F.F	0,5

Fuente: Los Autores

Contaminantes: Basados en la recopilación académica, se define como contaminantes más comunes en lodos de perforación a $NaCl$, $Ca(OH)_2$ y $CaSO_4(2H_2O)$, en concentración determinadas en análisis matemáticos. El porcentaje de error esperado es basado en la experimentación.

Tabla 4.26. Concentración de Agentes Contaminantes

Contaminante	Nombre	Dosificación (lb/BB)	Concentración (ppm)	% de Error
$NaCl$	Sal	1,5	2600 de Cl^-	10
$Ca(OH)_2$	Cal	0,1	185 de Ca^{++}	10
$CaSO_4(2H_2O)$	Yeso	0,25	160 de Ca^{++}	10

Fuente: Los Autores

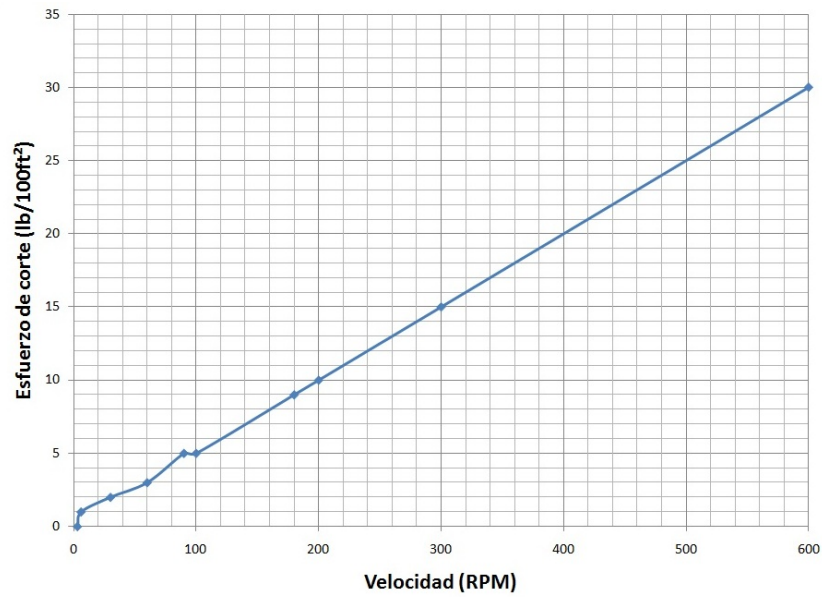
4.3.3. Caracterización de la Resina de Plátano

Tabla 4.27. Características de la Resina de Plátano.

parámetro	Unidades	Resina de Platano (R.P)
Densidad	lb/gal	8,5
pH	****	7,2
Reologia		
θ 600	lb/100 ft ²	30
θ 300	lb/100 ft ²	15
θ 200	lb/100 ft ²	10
θ 180	lb/100 ft ²	9
θ 100	lb/100 ft ²	5
θ 90	lb/100 ft ²	5
θ 60	lb/100 ft ²	3
θ 30	lb/100 ft ²	2
θ 6	lb/100 ft ²	1
θ 3	lb/100 ft ²	0
Esfuerzo de Gel (10 s)	lb/100 ft ²	1
Viscosidad Plástica (VP)	cp	15
Viscosidad Aparente (VA)	cp	15
Punto Cedente (PC)	cp	0
Pruebas Químicas		
Alcalinidad		
Pf	****	0
Mf	****	0,05
Salinidad		
Concentración de AgNO ₃	ppm	1000
Cl ⁻	ppm	1350
NaCl	ppm	2227,5
Dureza		
Ca ⁺⁺	ppm	80

Fuente: Los Autores

Figura 4.18. Comportamiento reologico de la resina de plátano



Fuente: Los Autores

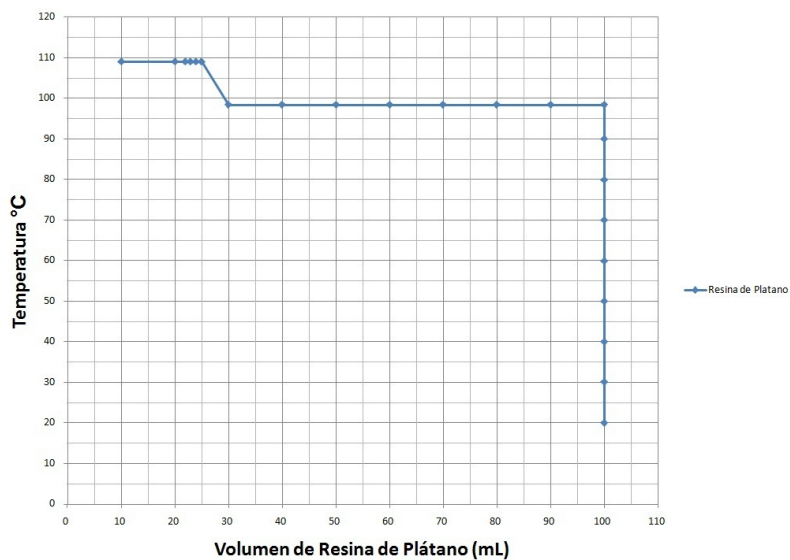
Según la información recolectada la resina de plátano contiene entre 70 y 80 % de agua, por lo tanto se hace una **Destilación Simple**, con el objetivo de retirar la mayor cantidad de agua posible, y así poder precisar la efectividad de la resina de plátano como aditivo para lodos de perforación base agua.

Tabla 4.28. Destilación Simple de la Resina de Plátano.

Volumen de Resina de Plátano (mL)	Temperatura (C)
100	20
100	30
100	40
100	50
100	60
100	70
100	80
100	90
100	98,5
90	98,5
80	98,5
70	98,5
60	98,5
50	98,5
40	98,5
30	98,5
25	109
24	109
23	109
22	109
20	109
10	109

Fuente: Los Autores

Figura 4.19. Destilación Simple de la Resina de Plátano.



Fuente: Los Autores

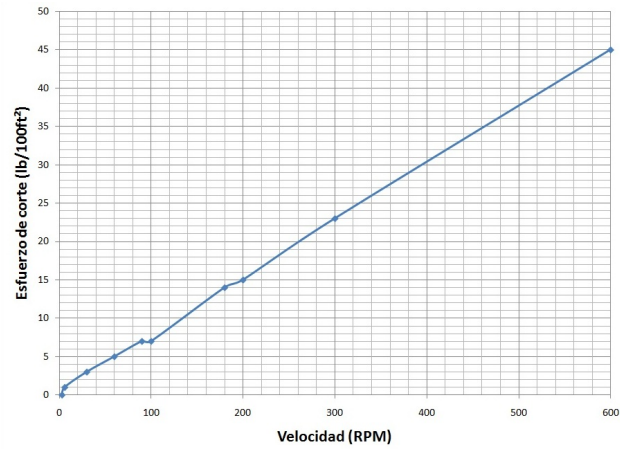
4.3.4. Caracterización de la Resina de Plátano Reducida.

Tabla 4.29. Características de la Resina de Plátano Reducida

parámetro	Unidades	Resina de Platano Reducida(R.P.R)
Volumen Original	mL	100
Volumen final	mL	25
Porcentaje de Reducción	*****	75
Densidad	ppg	8,5
pH	*****	7,2
Reologia		
θ 600	<i>lb/100.ft²</i>	45
θ 300	<i>lb/100.ft²</i>	23
θ 200	<i>lb/100.ft²</i>	15
θ 180	<i>lb/100.ft²</i>	14
θ 100	<i>lb/100.ft²</i>	7
θ 90	<i>lb/100.ft²</i>	7
θ 60	<i>lb/100.ft²</i>	5
θ 30	<i>lb/100.ft²</i>	3
θ 6	<i>lb/100.ft²</i>	1
θ 3	<i>lb/100.ft²</i>	0
Esfuerzo de Gel (10 s)	<i>lb/100.ft²</i>	1
Viscosidad Plástica (VP)	<i>cp</i>	22
Viscosidad Aparente (VA)	<i>cp</i>	22,5
Punto Cedente (PC)	<i>cp</i>	1
Pruebas Químicas		
Alcalinidad		
Pf	*****	0
Mf	*****	0,05
Salinidad		
Concentración de AgNO3	<i>ppm</i>	1000
<i>Cl⁻</i>	<i>ppm</i>	1600
<i>NaCl</i>	<i>ppm</i>	2640
Dureza		
<i>Ca⁺⁺</i>	<i>ppm</i>	80

Fuente: Los Autores

Figura 4.20. Comportamiento reologico de la resina de plátano reducida



Fuente: Los Autores

4.3.5. Experimentos a realizar

Basándose en la información recolectada, calculada y analizada, se decide hacer los siguientes experimentos:

Tabla 4.30. Relación de Experimentos.

Prueba	L.B	C.F.F	C.F.S	R.P	R.P.R	SAL	CAL	YESO
1	X							
2	X	X						
3	X		X					
4	X			X				
5	X				X			
6	X					X		
7	X						X	
8	X							X
9	X	X				X		
10	X	X					X	
11	X	X						X
12	X		X			X		
13	X		X				X	
14	X		X					X
15	X			X		X		
16	X			X			X	
17	X			X				X
18	X				X	X		
19	X				X		X	
20	X				X			X

Fuente: Los Autores

4.3.6. Diseño de plantillas para la recolección de datos de laboratorio.

Conociendo ya los experimentos a realizar se diseñan las plantillas para la recolección de datos para la determinar la incidencia de la resina de plátano en lodos de perforación base agua.

Tabla 4.31. Plantilla para la caracterización del lodo base y tratamiento con controladores de filtrado comercial.

parámetro	Unidades	L.B	C.F.S	C.F.F
Volumen de Filtrado API	mL			
Densidad	lb/gal			
pH	*****			
Reologia				
θ 600	lb/100ft ²			
θ 300	lb/100ft ²			
θ 200	lb/100ft ²			
θ 180	lb/100ft ²			
θ 100	lb/100ft ²			
θ 90	lb/100ft ²			
θ 60	lb/100ft ²			
θ 30	lb/100ft ²			
θ 6	lb/100ft ²			
θ 3	lb/100ft ²			
Esfuerzo de Gel (10 s)	lb/100ft ²			
Viscosidad Plástica (VP)	cp			
Viscosidad Aparente (VA)	cp			
Punto Cedente (PC)	cp			
Análisis de torta				
Espesor	in			
Película	*****			
Plástica	*****			
Quebradiza	*****			
Consistente	*****			
Inconsistente	*****			
Pruebas Químicas				
Alcalinidad				
Pf	*****			
Mf	*****			
Salinidad				
Concentración de AgNO3	ppm			
Cl ⁻	ppm			
NaCl	ppm			
Dureza				
Ca ⁺⁺	ppm			

Fuente: Los Autores

Tabla 4.32. Plantilla para la caracterización del lodo base contaminado y tratamiento con controladores de filtrado comercial.

Contaminante				
parámetro	Unidades	L.B.C	C.F.S	C.F.F
Volumen de Filtrado API	mL			
Densidad	lb/gal			
pH	*****			
Reología				
θ 600	$lb/100ft^2$			
θ 300	$lb/100ft^2$			
θ 200	$lb/100ft^2$			
θ 180	$lb/100ft^2$			
θ 100	$lb/100ft^2$			
θ 90	$lb/100ft^2$			
θ 60	$lb/100ft^2$			
θ 30	$lb/100ft^2$			
θ 6	$lb/100ft^2$			
θ 3	$lb/100ft^2$			
Esfuerzo de Gel (10 s)	$lb/100ft^2$			
Viscosidad Plástica (VP)	cp			
Viscosidad Aparente (VA)	cp			
Punto Cedente (PC)	cp			
Análisis de torta				
Espesor	in			
Película	*****			
Plástica	*****			
Quebradiza	*****			
Consistente	*****			
Inconsistente	*****			
Pruebas Químicas				
Alcalinidad				
Pf	*****			
Mf	*****			
Salinidad				
Concentración de AgNO3	ppm			
Cl^-	ppm			
$NaCl$	ppm			
Dureza				
Ca^{++}	ppm			

Fuente: Los Autores

Tabla 4.33. Plantilla para la caracterización del lodo base tratado con resina de plátano y resina de plátano reducida.

parámetro	Unidades	L.B	C1	C2	C3	C4	C5
Volumen de Filtrado API	mL						
Densidad	lb/gal						
pH	*****						
Reología							
θ 600	lb/100 ft ²						
θ 300	lb/100 ft ²						
θ 200	lb/100 ft ²						
θ 180	lb/100 ft ²						
θ 100	lb/100 ft ²						
θ 90	lb/100 ft ²						
θ 60	lb/100 ft ²						
θ 30	lb/100 ft ²						
θ 6	lb/100 ft ²						
θ 3	lb/100 ft ²						
Esfuerzo de Gel (10 s)	lb/100 ft ²						
Viscosidad Plástica (VP)	cp						
Viscosidad Aparente (VA)	cp						
Punto Cedente (PC)	cp						
Análisis de torta							
Espesor	in						
Película	*****						
Plástica	*****						
Quebradiza	*****						
Consistente	*****						
Inconsistente	*****						
Pruebas Químicas							
Alcalinidad							
Pf	*****						
Mf	*****						
Salinidad							
Concentración de AgNO ₃	ppm						
Cl ⁻	ppm						
NaCl	ppm						
Dureza							
Ca ⁺⁺	ppm						

Fuente: Los Autores

Tabla 4.34. Plantilla para la caracterización del lodo base contaminado y tratado con resina de plátano y resina de plátano reducida.

Contaminante (<i>lb/BB</i>)							
parámetro	Unidades	L.B.C	C1	C2	C3	C4	C5
Volumen de Filtrado API	mL						
Densidad	lb/gal						
pH	*****						
Reología							
θ 600	<i>lb/100 ft²</i>						
θ 300	<i>lb/100 ft²</i>						
θ 200	<i>lb/100 ft²</i>						
θ 180	<i>lb/100 ft²</i>						
θ 100	<i>lb/100 ft²</i>						
θ 90	<i>lb/100 ft²</i>						
θ 60	<i>lb/100 ft²</i>						
θ 30	<i>lb/100 ft²</i>						
θ 6	<i>lb/100 ft²</i>						
θ 3	<i>lb/100 ft²</i>						
Esfuerzo de Gel (10 s)	<i>lb/100 ft²</i>						
Viscosidad Plástica (VP)	<i>cp</i>						
Viscosidad Aparente (VA)	<i>cp</i>						
Punto Cedente (PC)	<i>cp</i>						
Análisis de torta							
Espesor	in						
Película	*****						
Plástica	*****						
Quebradiza	*****						
Consistente	*****						
Inconsistente	*****						
Pruebas Químicas							
Alcalinidad							
Pf	*****						
Mf	*****						
Salinidad							
Concentración de AgNO ₃	<i>ppm</i>						
<i>Cl⁻</i>	<i>ppm</i>						
<i>NaCl</i>	<i>ppm</i>						
Dureza							
<i>Ca⁺⁺</i>	<i>ppm</i>						

Fuente: Los Autores

4.4 PRUEBAS DE LABORATORIO

En esta sección se darán a conocer los resultados de laboratorio obtenidos, adicionalmente, por medio de gráficas se relacionara el volumen de filtrado y comportamiento reológico, previo a esto se hará un recuento de las convenciones utilizadas para los distintos experimentos realizados.

Tabla 4.35. Convenciones utilizadas para las pruebas de laboratorio

Convencion	Descripcion
L.B	Lodo Base
C.F.F	Tratamiento con C.F.F 0,5lb/BB
C.F.S	Tratamiento con C.F.S 0,5lb/BB
L.B.C	Lodo Base contaminado
R.P.T	Resina de platano tratada con B1
R.P.R.T	Resina de platano reducida y tratada con B1
C1	Resina de platano a 2lb/BB
C2	Resina de platano a 4lb/BB
C3	Resina de platano a 8lb/BB
C4	Resina de platano a 16lb/BB
C5	Resina de platano a 32lb/BB

Fuente: Los Autores

4.4.1. Experimentos de control.

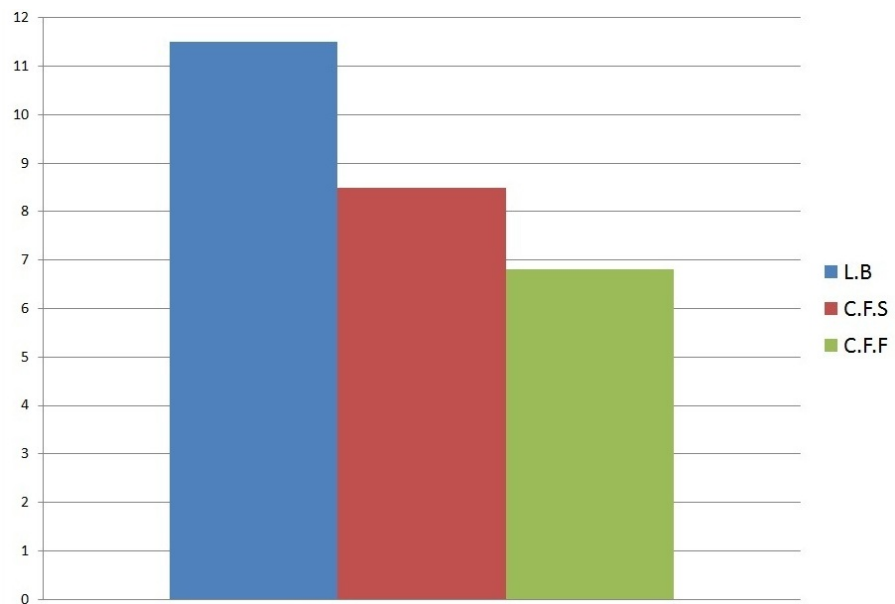
En esta sección caracterizaremos el lodo base, tratamientos con controladores de filtrado comercial, lodo base contaminado y su correspondiente tratamiento con controladores de filtrado comercial.

Tabla 4.36. Fase 01. Caracterización del L.B y tratamiento con controladores de filtrado comercial.

parámetro	Unidades	L.B	C.F.S	C.F.F
Volumen de Filtrado API	mL	11.5	8.5	6.8
Densidad	lb/gal	8.8	8.8	8.6
pH	*****	11.37	10.63	7.99
Reología				
θ 600	<i>lb/100ft²</i>	30	83	125
θ 300	<i>lb/100ft²</i>	25	54	88
θ 200	<i>lb/100ft²</i>	20	43	74
θ 180	<i>lb/100ft²</i>	18	40	71
θ 100	<i>lb/100ft²</i>	12	29	56
θ 90	<i>lb/100ft²</i>	11	27	54
θ 60	<i>lb/100ft²</i>	9	21	47
θ 30	<i>lb/100ft²</i>	6	15	38
θ 6	<i>lb/100ft²</i>	4	7	27
θ 3	<i>lb/100ft²</i>	3	6	25
Esfuerzo de Gel (10 s)	<i>lb/100ft²</i>	5	7	38
Viscosidad Plástica (VP)	<i>cp</i>	5	29	37
Viscosidad Aparente (VA)	<i>cp</i>	15	41,5	62.5
Punto Cedente (PC)	<i>cp</i>	20	25	51
Análisis de torta				
Espesor	in	1/32	1/32	
Película	*****			X
Plástica	*****			X
Quebradiza	*****	X	X	
Consistente	*****	X		
Inconsistente	*****		X	X
Pruebas Químicas				
Alcalinidad				
Pf	*****	0.05	0.05	0
Mf	*****	0.1	0.05	0.05
Salinidad				
Concentración de AgNO3	<i>ppm</i>	1000	1000	1000
<i>Cl⁻</i>	<i>ppm</i>	150	200	200
<i>NaCl</i>	<i>ppm</i>	247.5	330	330
Dureza				
<i>Ca⁺⁺</i>	<i>ppm</i>	100	120	120

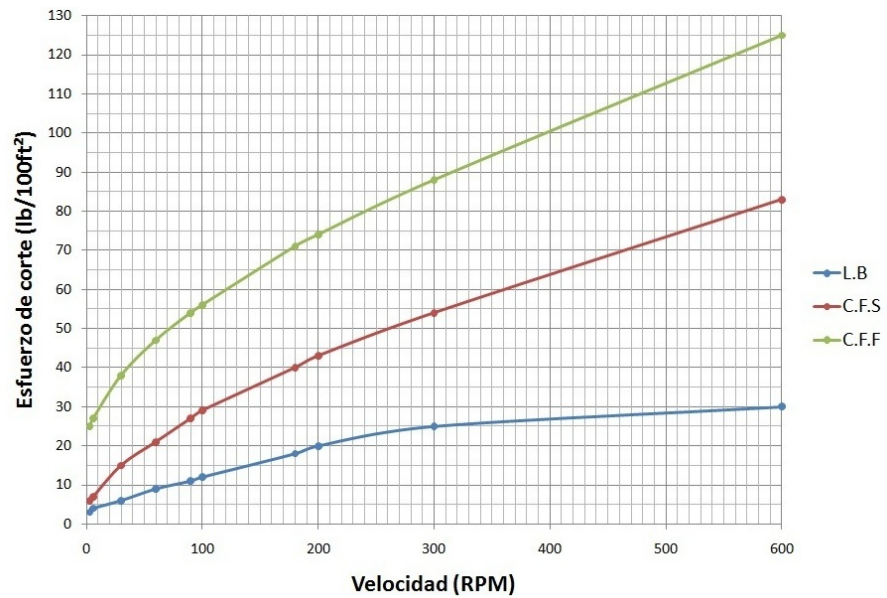
Fuente: Los Autores

Figura 4.21. Fase 01. Filtrado API



Fuente: Los Autores

Figura 4.22. Fase 01. Comportamiento reológico



Fuente: Los Autores

Comentarios

Tabla 4.36: Para el lodo base y los lodos controladores de filtrado C.F.S y C.F.F la densidad no cambia, el pH se encuentra entre el rango de 7.5 y 11.5 que es el correspondiente a un lodo alcalino de base acuosa. Ninguno de los tres lodos presenta un revoque de características óptimas. De las pruebas químicas se observa un aumento en la salinidad de los lodos con controladores de filtrado C.F.S y C.F.F, además de un aumento leve en la concentración de iones Cl^- y Ca^{++} .

Figura 4.21: Respecto al volumen de filtrado registrado por el lodo base, el lodo con C.F.S disminuye el filtrado en un 26 %, mientras que el lodo con C.F.F resulta ser más efectivo, disminuyendo el filtrado en un 44 %.

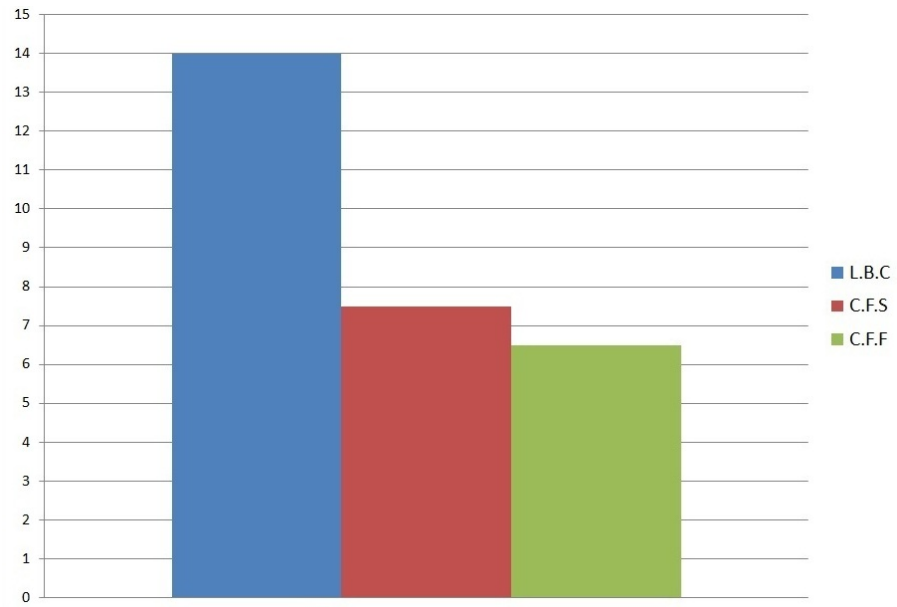
Figura 4.22: El esfuerzo de corte del lodo base es bajo, la viscosidad aparente es de 15 *cp* y la lectura de 600 RPM es de 30(*lb/100.ft²*), este valor esta por debajo del rango óptimo de trabajo de un lodo de perforación. En la práctica se ha encontrado que un lodo de perforación debe tener un esfuerzo de corte relacionado con un Viscosidad aparente de 15 *cp* y un rango para la lectura de 600 RPM entre 45-50 (*lb/100.ft²*), esfuerzos de corte muy bajos producen una baja eficiencia en la limpieza del pozo. Bajas velocidades de corte provocaran el asentamiento de las partículas sólidas suspendidas en la filtración dinámica, y por tanto, se presentaran perdidas excesivas de filtrado. El esfuerzo de corte aumenta para los lodos con controladores de filtrado comerciales, para este caso, el esfuerzo de corte registrado para la lectura de 600 RPM con los lodos C.F.S y C.F.F es muy alto, las velocidades de corte altas, causan que los esfuerzos de corte en la columna de perforación excedan los esfuerzos de corte en el espacio anular, provocando perdidas de presión a través del sistema de circulación.

Tabla 4.37. Fase 02. Caracterización del L.B contaminado con sal y tratamiento con controladores de filtrado comercial.

Sal a 1.5 (lb/BB)				
parámetro	Unidades	L.B.C	C.F.S	C.F.F
Volumen de Filtrado API	mL	14	7.5	6.5
Densidad	lb/gal	8.8	8.8	8.8
pH	*****	8.54	8.01	7.97
Reología				
θ 600	lb/100ft ²	86	109	172
θ 300	lb/100ft ²	81	86	148
θ 200	lb/100ft ²	75	77	136
θ 180	lb/100ft ²	72	75	134
θ 100	lb/100ft ²	67	68	125
θ 90	lb/100ft ²	66	67	124
θ 60	lb/100ft ²	64	65	120
θ 30	lb/100ft ²	58	59	110
θ 6	lb/100ft ²	47	49	95
θ 3	lb/100ft ²	45	47	78
Esfuerzo de Gel (10 s)	lb/100ft ²	49	69	78
Viscosidad Plástica (VP)	cp	5	23	24
Viscosidad Aparente (VA)	cp	43	54.5	86
Punto Cedente (PC)	cp	76	63	124
Análisis de torta				
Espesor	in	1/32		
Película	*****		X	X
Plástica	*****			X
Quebradiza	*****	X	X	
Consistente	*****			X
Inconsistente	*****	X	X	
Pruebas Químicas				
Alcalinidad				
Pf	*****	0	0	0
Mf	*****	0.05	0.05	0.05
Salinidad				
Concentración de AgNO ₃	ppm	10000	10000	10000
Cl ⁻	ppm	2500	3000	3000
NaCl	ppm	4125	4950	4950
Dureza				
Ca ⁺⁺	ppm	100	120	120

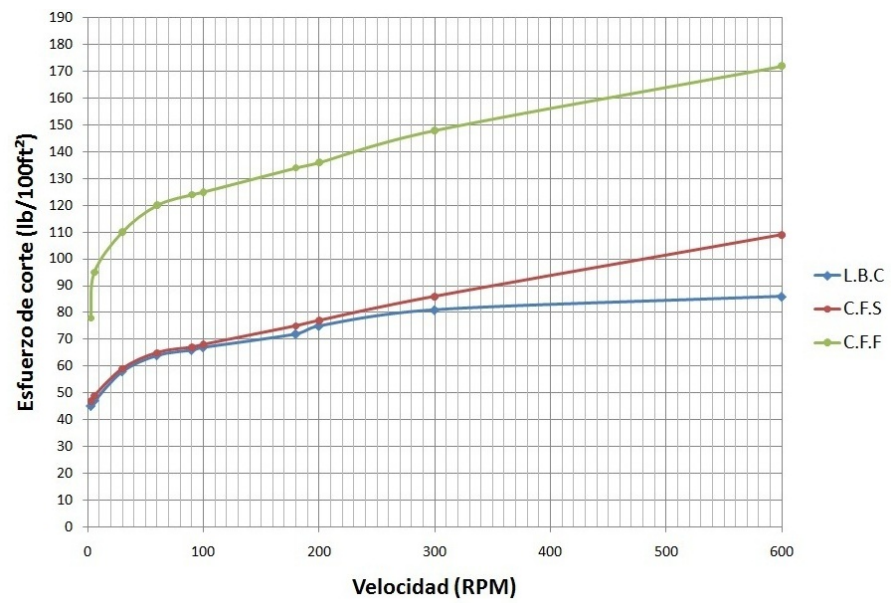
Fuente: Los Autores

Figura 4.23. Fase 02. Filtrado API



Fuente: Los Autores

Figura 4.24. Fase 02. Comportamiento reológico



Fuente: Los Autores

Comentarios

Tabla 4.37: Para el lodo base y los controladores de filtrado comerciales la densidad no cambia, el pH esta entre el rango (7.5 -11.5) correspondiente a un lodo alcalino de base acuosa. Ninguno de los tres lodos presenta un revoque de características óptimas. De las pruebas químicas se observa una salinidad normal para este tipo de lodo, se presenta un aumento leve en la concentración de iones Cl^- y Ca^{++} .

Figura 4.23: Los controladores de filtrado comerciales reducen el volumen de filtrado a casi la mitad respecto al lodo base, el lodo con C.F.F disminuye el filtrado en un 54 % y el lodo con C.F.S disminuye el filtrado en un 46 %.

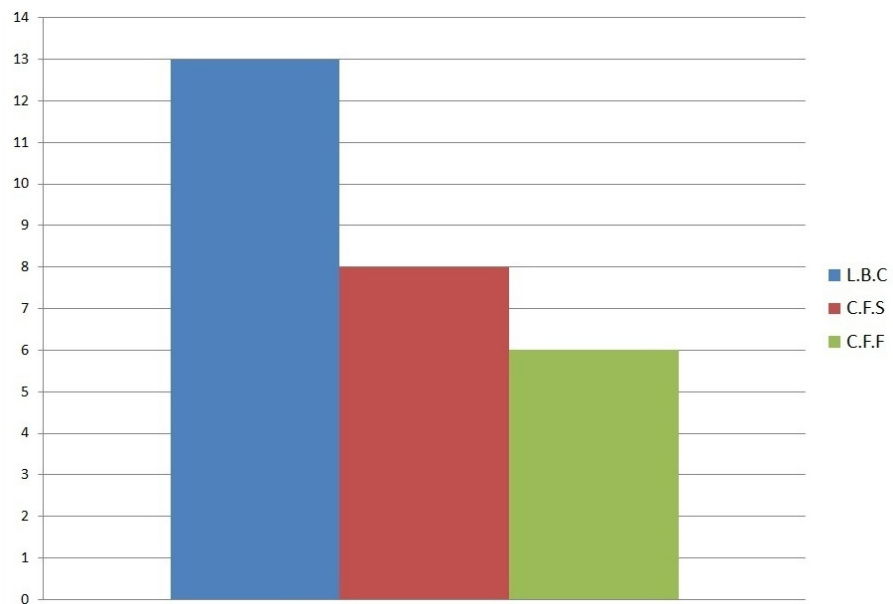
Figura 4.24: El comportamiento reológico de los lodos base y C.F.S es similar, sin embargo, el esfuerzo de corte a 600 RPM es alto para las condiciones óptimas de trabajo encontradas en la practica para un lodo de perforación ($45-50 \text{ lb}/100\text{ft}^2$). Este aumento de las propiedades reológicas es debido a la interacción de los iones Na^- y Cl^- con la superficie de las arcillas, cambiando la distribución de las cargas eléctricas y causando floculación, así como un valor alto del Punto cedente y la Viscosidad aparente. Las velocidades de corte son altas para los tres lodos .Los valores en el comportamiento reológico del lodo con C.F.F es el doble, respecto a los otros dos lodos, por lo que se deduce que este lodo es inadecuado para la perforación y produciría evidente pérdidas más altas de presión en el sistema de circulación.

Tabla 4.38. Fase 03. Caracterización del L.B contaminado con cal y tratamiento con controladores de filtrado comercial.

Cal a 0.1 (lb/BB)				
parámetro	Unidades	L.B.C	C.F.S	C.F.F
Volumen de Filtrado API	mL	13	8	6
Densidad	lb/gal	8.8	8.8	8.6
pH	*****	12.02	9.94	10.02
Reología				
θ 600	lb/100ft ²	35	71	161
θ 300	lb/100ft ²	30	49	123
θ 200	lb/100ft ²	24	40	109
θ 180	lb/100ft ²	22	38	106
θ 100	lb/100ft ²	17	30	89
θ 90	lb/100ft ²	16	29	87
θ 60	lb/100ft ²	14	25	79
θ 30	lb/100ft ²	11	20	69
θ 6	lb/100ft ²	7	12	56
θ 3	lb/100ft ²	6	11	53
Esfuerzo de Gel (10 s)	lb/100ft ²	15	20	63
Viscosidad Plástica (VP)	cp	5	22	38
Viscosidad Aparente (VA)	cp	17.5	35.5	80.5
Punto Cedente (PC)	cp	25	27	85
Análisis de torta				
Espesor	in	1/32		1/32
Película	*****		X	
Plástica	*****		X	X
Quebradiza	*****	X		
Consistente	*****	X	X	X
Inconsistente	*****			
Pruebas Químicas				
Alcalinidad				
Pf	*****	0.1	0	0
Mf	*****	0.2	0.1	0.1
Salinidad				
Concentración de AgNO ₃	ppm	1000	1000	1000
Cl ⁻	ppm	200	250	250
NaCl	ppm	330	412.5	412.5
Dureza				
Ca ⁺⁺	ppm	180	200	200

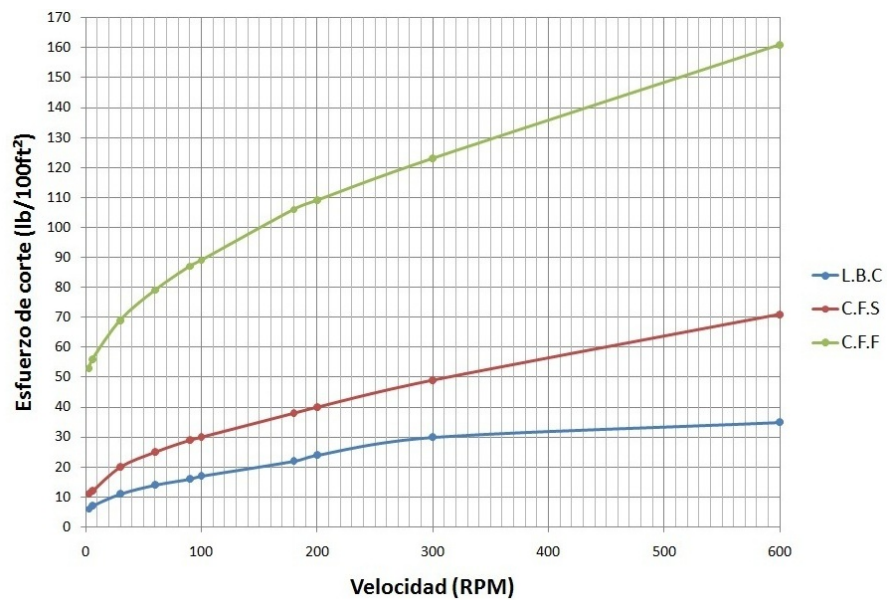
Fuente: Los Autores

Figura 4.25. Fase 03. Filtrado API



Fuente: Los Autores

Figura 4.26. Fase 03. Comportamiento reológico



Fuente: Los Autores

Comentarios

Tabla 4.38: Para el lodo base y los controladores de filtrado comerciales la densidad no cambia. El pH de los lodos con controladores de filtrado comerciales se encuentra en el rango (7.5 -11.5) correspondiente a un lodo alcalino de base acuosa, el valor de pH del lodo base (12.02) es debido a la interacción iónica asociada con la contaminación con cal. El lodo con C.F.F presenta un revoque características óptimas. De las pruebas químicas se observa un aumento leve en la concentración de iones Cl^- y Ca^{++} , la salinidad de los lodos base, con C.F.S y C.F.F aumenta respecto a los lodos no contaminados mostrados en la Fase 01, este comportamiento es debido al intercambio iónico de los iones Ca^{++} y Na^+ .

Figura 4.25: Respecto al volumen de filtrado registrado por el lodo base, el lodo con C.F.S disminuye el filtrado en un 38 %, mientras que el lodo con C.F.F resulta ser más efectivo, disminuyendo el filtrado en un 54 %.

Figura 4.26: El lodo base presenta un comportamiento reológico bueno, el esfuerzo de corte a 600 RPM se encuentra dentro de las condiciones óptimas de trabajo encontradas en la practica para un lodo de perforación ($45-50 lb/100ft^2$), el valor de la Viscosidad aparente es de $17.5 cp$. El comportamiento reológico del lodo con C.F.S aumenta en una proporción aproximada 2:1 respecto al lodo base, mientras que en el lodo con C.F.F esta proporción aproximada 5:1 se encuentra fuera de control, el valor de la velocidad máxima de corte para la lectura de 600 RPM es de $161lb/100ft^2$ para este lodo, esto provocaría pérdidas de presión demasiado altas en el sistema de circulación. El aumento de las propiedades reológicas en los lodos es debido a la contaminación con cal, los iones Ca^{++} tiende a remplazar los iones

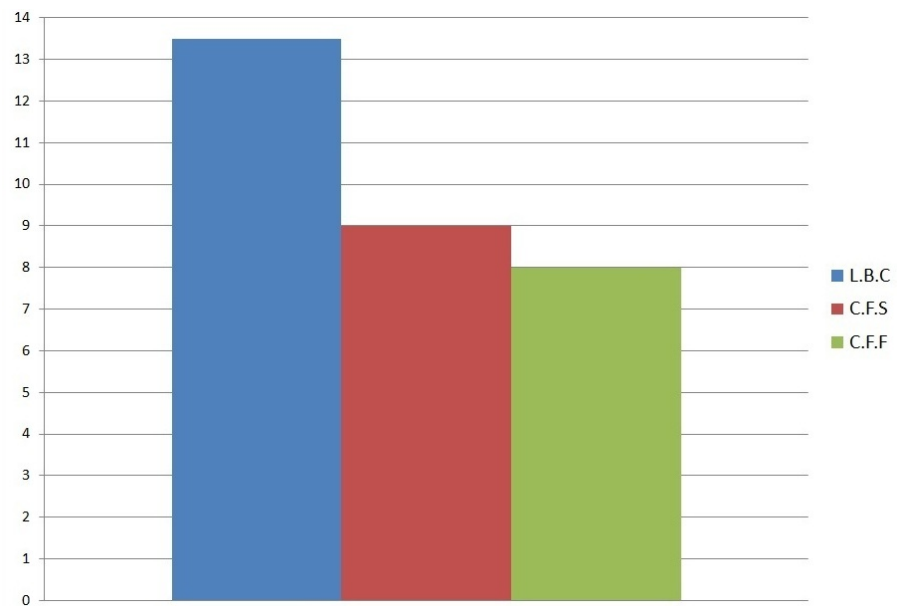
Na^+ , convirtiendo las arcillas en base calcio, lo que determinara la floculación y la no dispersión de las partículas de arcilla.

Tabla 4.39. Fase 04. Caracterización del L.B contaminado con yeso y tratamiento con controladores de filtrado comercial.

Yeso a 0,25 (lb/BB)				
parámetro	Unidades	L.B.C	C.F.S	C.F.F
Volumen de Filtrado API	mL	13.5	9	8
Densidad	lb/gal	8.8	8.7	8.6
pH	*****	8.16	8.07	8.02
Reología				
θ 600	lb/100ft ²	37	63	138
θ 300	lb/100ft ²	31	45	102
θ 200	lb/100ft ²	26	36	91
θ 180	lb/100ft ²	25	34	89
θ 100	lb/100ft ²	21	26	76
θ 90	lb/100ft ²	20	25	74
θ 60	lb/100ft ²	19	22	67
θ 30	lb/100ft ²	17	18	58
θ 6	lb/100ft ²	13	14	43
θ 3	lb/100ft ²	10	11	39
Esfuerzo de Gel (10 s)	lb/100ft ²	24	20	50
Viscosidad Plástica (VP)	cp	6	18	36
Viscosidad Aparente (VA)	cp	18.5	31.5	69
Punto Cedente (PC)	cp	25	27	66
Análisis de torta				
Espesor	in	1/32		1/32
Película	*****		X	
Plástica	*****			
Quebradiza	*****	X	X	X
Consistente	*****	X	X	X
Inconsistente	*****			
Pruebas Químicas				
Alcalinidad				
Pf	*****	0	0	0
Mf	*****	0.05	0.05	0.05
Salinidad				
Concentración de AgNO3	ppm	1000	1000	1000
Cl ⁻	ppm	150	300	300
NaCl	ppm	247.5	495	495
Dureza				
Ca ⁺⁺	ppm	140	140	120

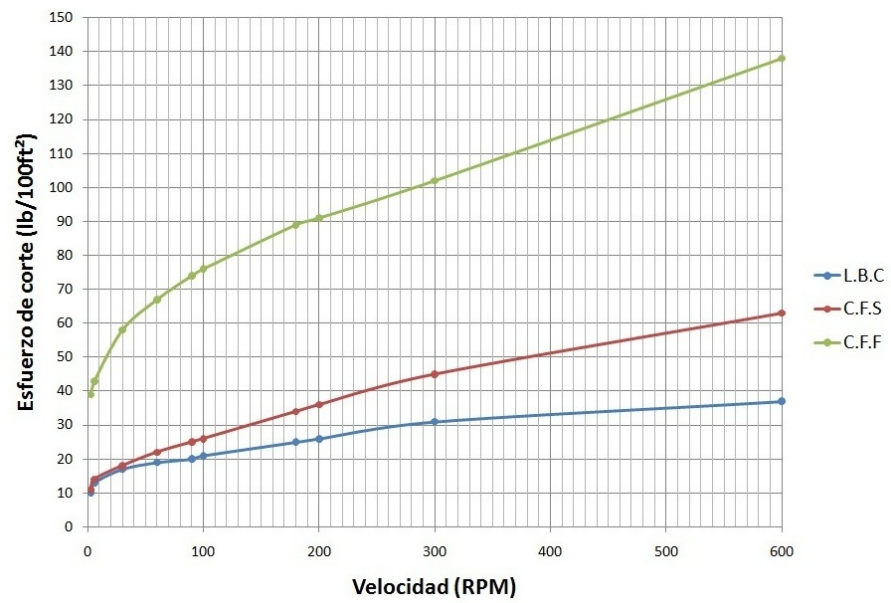
Fuente: Los Autores

Figura 4.27. Fase 04. Filtrado API



Fuente: Los Autores

Figura 4.28. Fase 04. Comportamiento reológico



Fuente: Los Autores

Comentarios

Tabla 4.39: Para el lodo base y los controladores de filtrado comerciales la densidad es muy similar. Ninguno de los tres lodos presenta un revoque de características óptimas. De las pruebas químicas se observa un aumento leve en la concentración de iones Cl^- . La solubilización del sulfato de calcio disminuye el pH debido a la alcalinidad del yeso (pH=6), por lo que se presenta un aumento de la dureza. Por esta razón, en los tres sistemas de lodos contaminados con yeso indicados en la tabla, el pH disminuye y la dureza aumenta, en relación a los lodos no contaminados mostrados en la Fase 01. La salinidad de los lodos base, con C.F.S y C.F.F aumenta respecto a los lodos no contaminados mostrados en la Fase 01, este comportamiento es debido al intercambio iónico de los iones Ca^{++} y Na^+ .

Figura 4.27: Respecto al volumen de filtrado registrado por el lodo base, el lodo con C.F.S disminuye el filtrado en un 33 %, mientras que el lodo con C.F.F disminuye el filtrado en un 41 %.

Figura 4.28: El lodo base presenta un esfuerzo de corte a 600 RPM por debajo de las condiciones óptimas de trabajo encontradas en la práctica para un lodo de perforación ($45-50 \text{ lb}/100\text{ft}^2$). El comportamiento reológico del lodo con C.F.S aumenta en una proporción aproximada 2:1 respecto al lodo base, mientras que en el lodo con C.F.F esta proporción aproximada es de 4:1, la velocidad máxima de corte en la lectura de 600 RPM es de $138(\text{lb}/100\text{ft}^2)$, es de notarse que la curva para el lodo con C.F.F está muy por encima de las curvas de los lodos base y lodo con C.F.S, este valor alto del esfuerzo de corte provocaría pérdidas de presión en el sistema de circulación. Cuando la concentración de sulfato de calcio y la solubilidad de calcio aumentan, ocurre una reacción química que afecta la bentonita, este

efecto causa la agregación y la floculación de partículas en los lodos base agua, aumentando las propiedades reológicas.

4.4.2. Experimentos con resina de plátano.

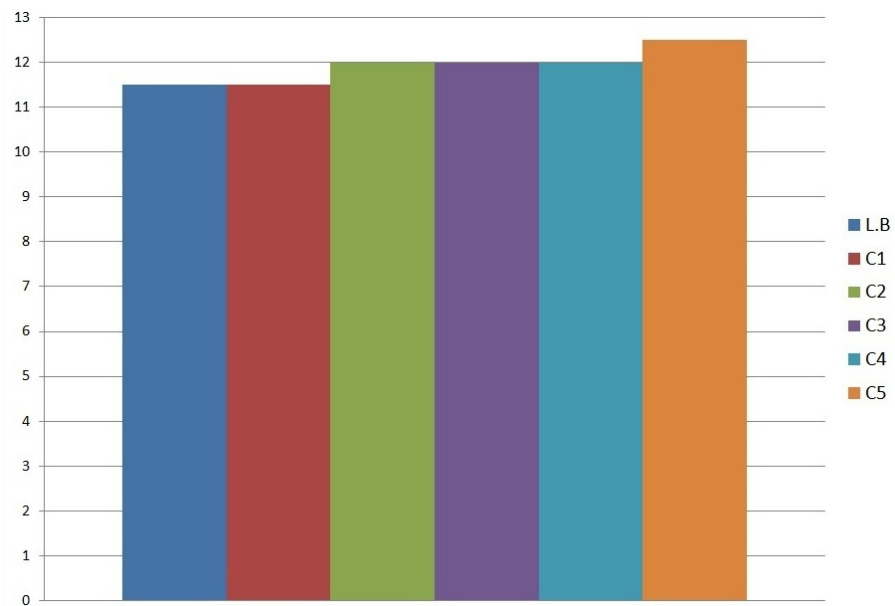
En esta sección se caracterizará el lodo base tratado con resinas de plátano y lodo base contaminado tratado con resinas de plátano.

Tabla 4.40. Fase 05. Caracterización del L.B tratado con R.P.T

parámetro	Unidades	L.B	C1	C2	C3	C4	C5
Volumen de Filtrado API	mL	11.5	11.5	12	12	12	12.5
Densidad	lb/gal	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8
pH	****	11.37	9.78	9.62	9.54	9.49	9.45
Reología							
θ 600	lb/100ft ²	30	30	29	27	24	22
θ 300	lb/100ft ²	25	25	21	20	16	13
θ 200	lb/100ft ²	20	21	17	16	13	9
θ 180	lb/100ft ²	18	20	16	15	12	8
θ 100	lb/100ft ²	12	16	12	11	10	6
θ 90	lb/100ft ²	11	15	11	10	9	5
θ 60	lb/100ft ²	9	13	8	8	8	4
θ 30	lb/100ft ²	6	10	5	5	4	3
θ 6	lb/100ft ²	4	7	4	4	3	2
θ 3	lb/100ft ²	3	5	3	3	2	2
Esfuerzo de Gel (10 s)	lb/100ft ²	5	10	12	13	14	16
Viscosidad Plástica (VP)	cp	5	5	8	7	8	9
Viscosidad Aparente (VA)	cp	15	15	14.5	13.5	12	11
Punto Cedente (PC)	cp	20	20	13	13	8	4
Análisis de torta							
Espesor	in	1/32	1/32	1/32			
Película	****				X	X	X
Plástica	****						
Quebradiza	****	X	X	X	X	X	X
Consistente	****	X	X	X	X	X	X
Inconsistente	****						
Pruebas Químicas							
Alcalinidad							
Pf	****	0.05	0	0	0	0	0
Mf	****	0.1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Salinidad							
Concentración de AgNO ₃	ppm	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Cl ⁻	ppm	150	200	200	200	250	300
NaCl	ppm	247.5	300	300	300	412.5	495
Dureza							
Ca ⁺⁺	ppm	100	80	80	60	40	20

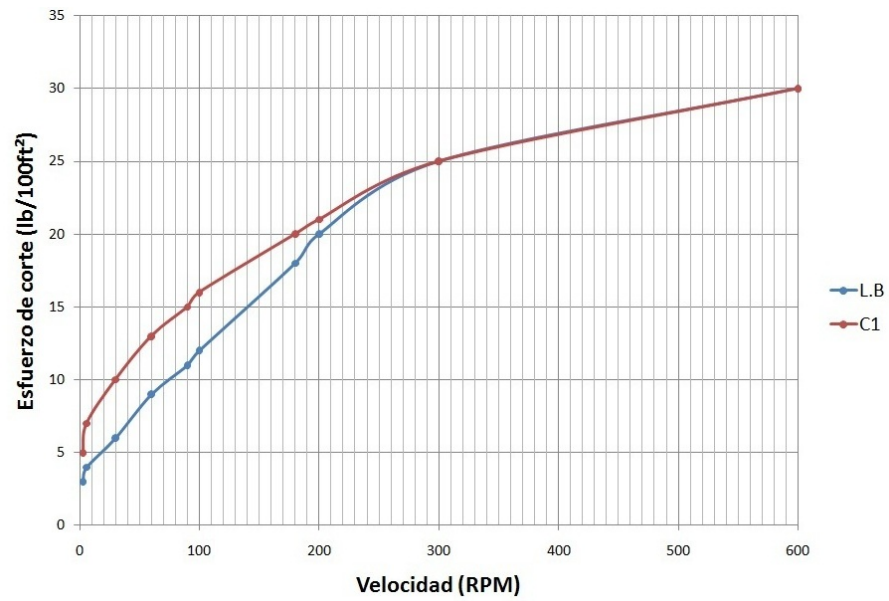
Fuente: Los Autores

Figura 4.29. Fase 05. Filtrado API



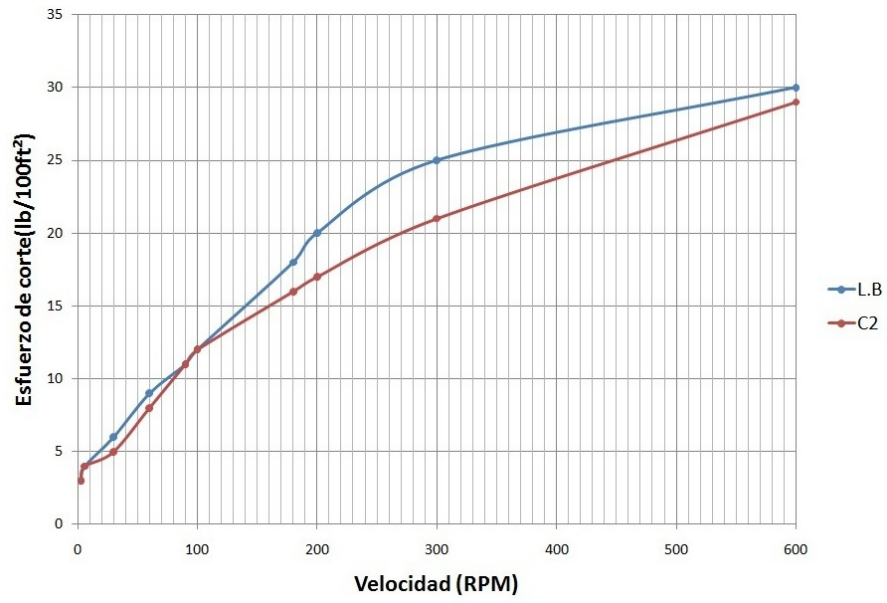
Fuente: Los Autores

Figura 4.30. Fase 05. Comparación Comportamiento reológico a C1



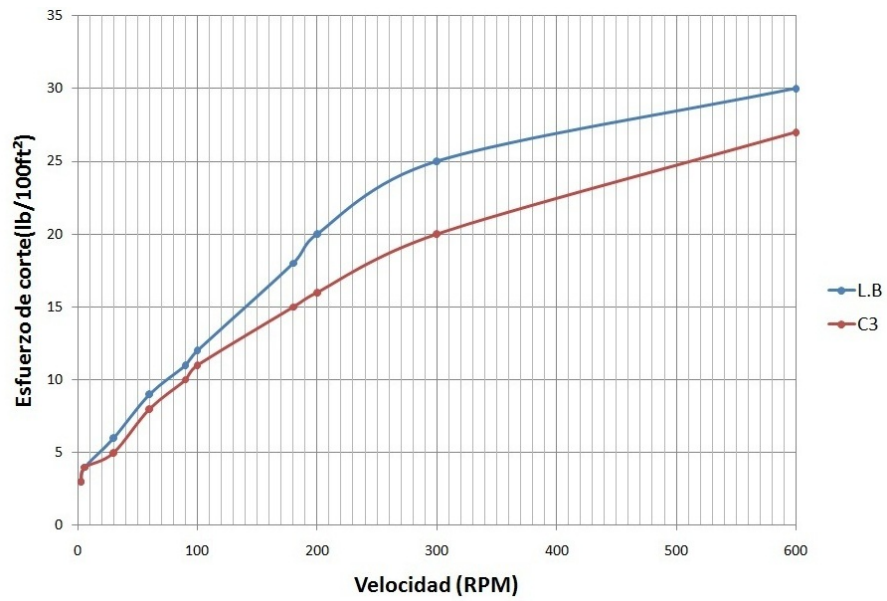
Fuente: Los Autores.

Figura 4.31. Fase 05. Comparación Comportamiento reológico a C2



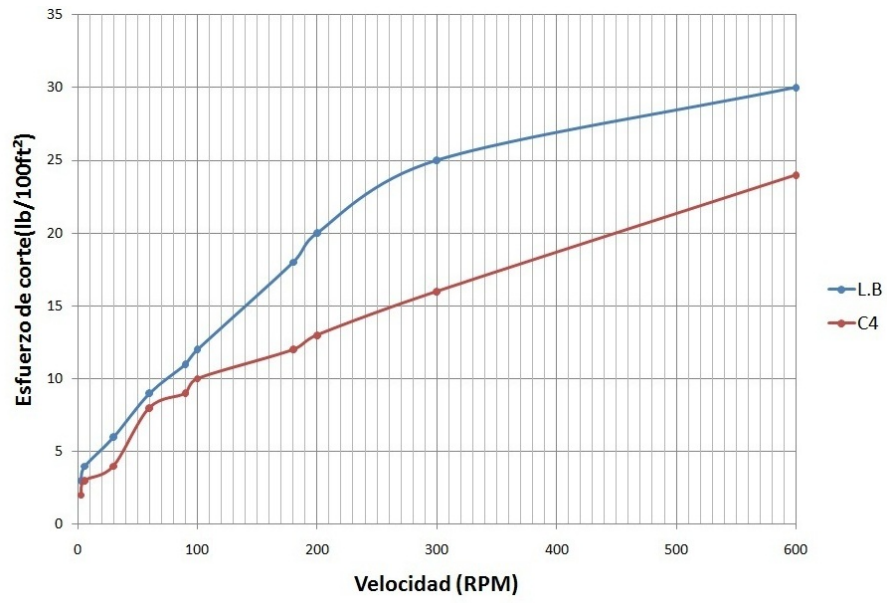
Fuente: Los Autores.

Figura 4.32. Fase 05. Comparación Comportamiento reológico a C3



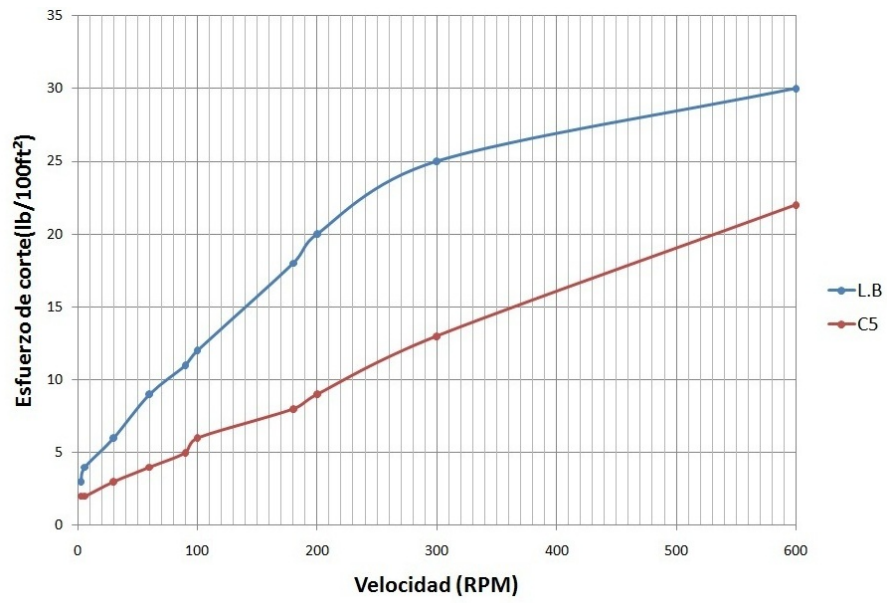
Fuente: Los Autores.

Figura 4.33. Fase 05. Comparación Comportamiento reológico a C4



Fuente: Los Autores.

Figura 4.34. Fase 05. Comparación Comportamiento reológico a C5



Fuente: Los Autores.

Comentarios

Tabla 4.40: En esta tabla se establece una comparación entre el lodo base y 5 lodos con resina de plátano tratada con bactericida, obtenidos a diferentes concentraciones. La densidad permanece constante para los 6 lodos, por tanto, la resina de plátano no afecta este parámetro. En cuanto el pH, el valor de este en todos los lodos se encuentra en el rango óptimo de trabajo (7.5 -11.5), se observa un decrecimiento de esta medida conforme aumenta la concentración de la resina, aunque poco significativo, esto puede deberse al pH bajo de la resina y/o dilución de esta en el lodo. Ninguno de los seis lodos presenta un revoque de características óptimas. De las pruebas químicas se observa un aumento de salinidad, en referencia al lodo base (247,5 ppm de $NaCl$), constante para los lodos con concentraciones C1, C2 y C3 (300 ppm de $NaCl$), para los lodos de concentraciones C4 y C5, este aumento es de 412,5 y 495 ppm de $NaCl$ respectivamente; es posible que este comportamiento sea debido a una reacción química presente entre la bentonita y las resina de plátano. En cuanto a la dureza, se observa una disminución de los iones Ca^{++} , conforme aumenta la concentración de la resina, por lo que se podría decir que la resina de plátano actúa como agente secuestrante de iones Ca^{++} .

Figura 4.29: Para un lodo sin contaminantes el control de pérdida de filtrado representa un proceso de escasa eficiencia, estableciendo la comparación entre el lodo base y los 5 lodos con resina de plátano estudiados en esta fase, se obtiene como resultado una pérdida de filtrado, igual para el lodo con concentración de resina C1 y una pérdida de filtrado mayor para los otros cuatro lodos.

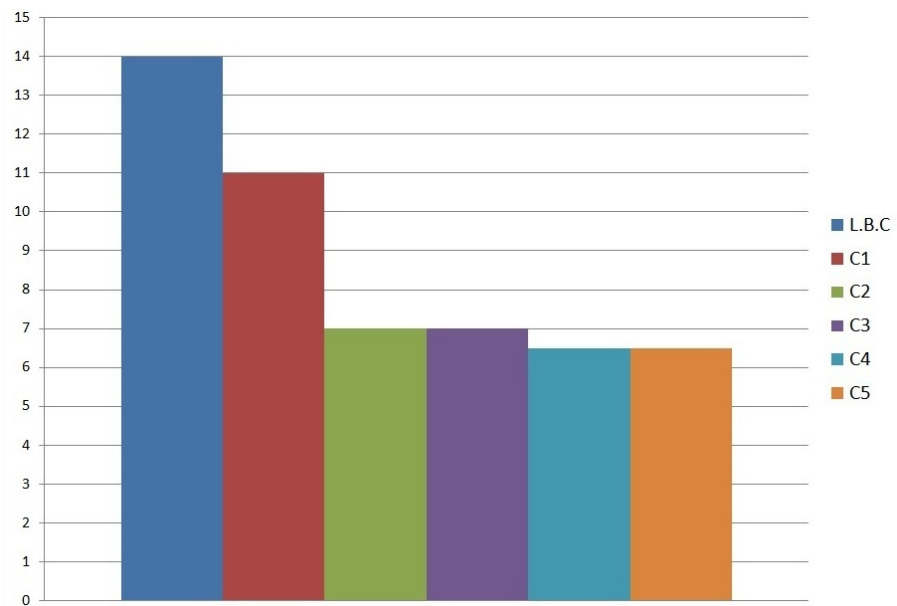
Figuras 4.30, 4.31, 4.32, 4.33 y 4.34: El comportamiento reológico de los lodos con resina de plátano tratada con bactericida esta cercano al comportamiento del lodo base, sin embargo, la reología del lodo con R.P.T con concentración C1, presenta mayor similitud, el esfuerzo de corte máximo para la lectura de 600 rpm ($30 \text{ lb}/100 \text{ ft}^2$), aunque está por debajo de las condiciones óptimas de trabajo encontradas en la práctica para un lodo de perforación ($45\text{-}50 \text{ lb}/100 \text{ ft}^2$) base agua, es un parámetro de fácil control, además se tiene a favor que la Viscosidad aparente para el lodo R.P.T con concentración C1, corresponde al mismo valor del registrado por el lodo base (15 cp.), el cual, es un buen punto de partida, teniendo en cuenta que es a este valor es el determinante para el rendimiento de cualquier tipo de arcilla.

Tabla 4.41. Fase 06. Caracterización del L.B contaminado con sal y tratado con R.P.T

Sal (1,5lb/BB)							
parámetro	Unidades	L.B.C	C1	C2	C3	C4	C5
Volumen de Filtrado API	mL	14	11	7	7	6.5	6.5
Densidad	lb/gal	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8
pH	****	8.54	8.20	8.19	8.17	8.12	8.08
Reología							
θ 600	lb/100ft ²	86	83	70	67	64	60
θ 300	lb/100ft ²	81	75	63	58	55	52
θ 200	lb/100ft ²	75	70	60	54	50	49
θ 180	lb/100ft ²	72	69	59	53	48	48
θ 100	lb/100ft ²	67	65	55	50	45	45
θ 90	lb/100ft ²	66	64	54	49	43	44
θ 60	lb/100ft ²	64	62	53	48	43	42
θ 30	lb/100ft ²	58	59	51	47	42	41
θ 6	lb/100ft ²	47	50	44	39	37	36
θ 3	lb/100ft ²	45	49	43	37	36	35
Esfuerzo de Gel (10 s)	lb/100ft ²	49	10	12	15	21	20
Viscosidad Plástica (VP)	cp	5	8	7	9	9	8
Viscosidad Aparente (VA)	cp	43	41.5	35	33.5	32	30
Punto Cedente (PC)	cp	76	67	56	49	46	44
Análisis de torta							
Espesor	in	1/32	1/32				
Película	****			X	X	X	X
Plástica	****					X	
Quebradiza	****	X	X	X	X		X
Consistente	****		X	X	X		X
Inconsistente	****	X				X	
Pruebas Químicas							
Alcalinidad							
Pf	****	0	0	0	0	0	0
Mf	****	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Salinidad							
Concentración de AgNO3	ppm	10000	10000	10000	10000	10000	10000
Cl ⁻	ppm	2500	3000	3000	3000	3500	4000
NaCl	ppm	4125	4950	4950	4950	5775	6600
Dureza							
Ca ⁺⁺	ppm	100	80	80	60	40	20

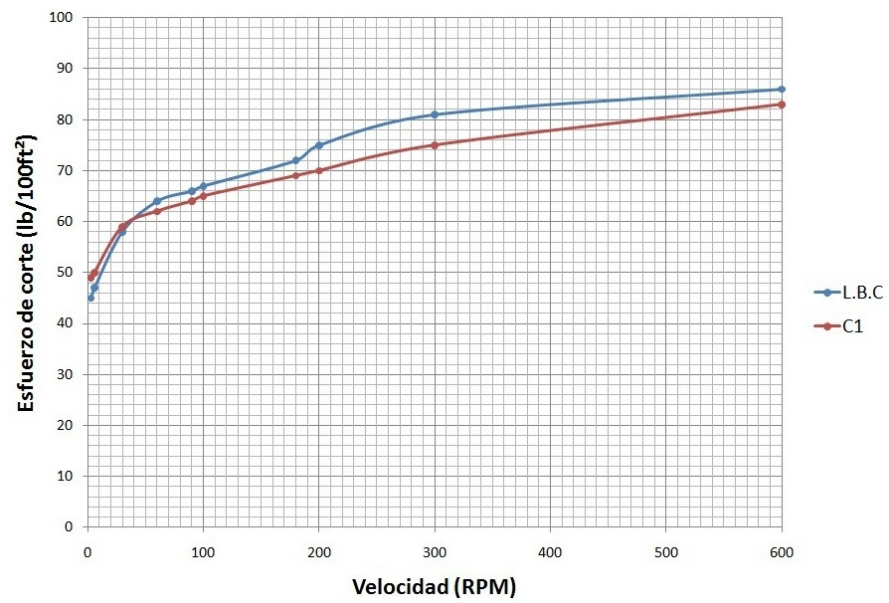
Fuente: Los Autores

Figura 4.35. Fase 06. Filtrado API



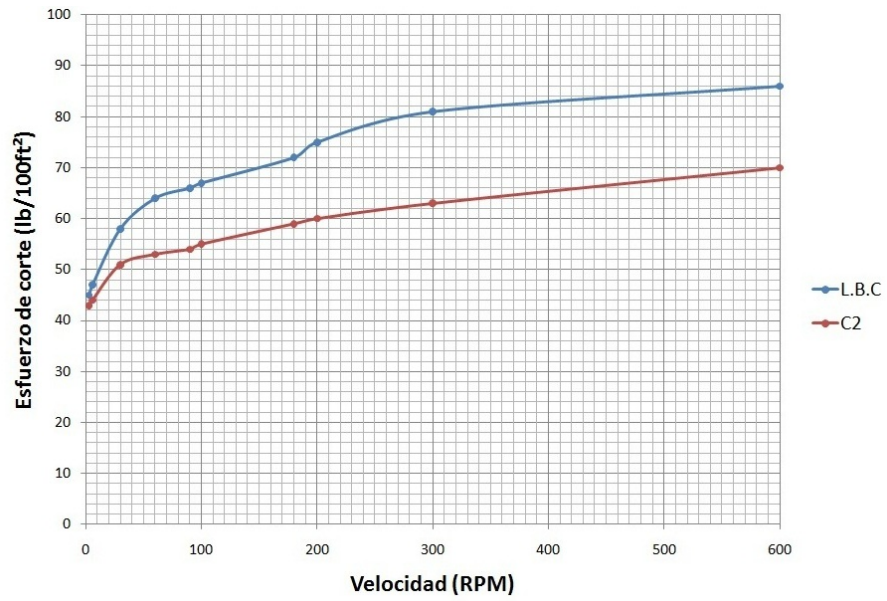
Fuente: Los Autores

Figura 4.36. Fase 06. Comparación Comportamiento reológico a C1



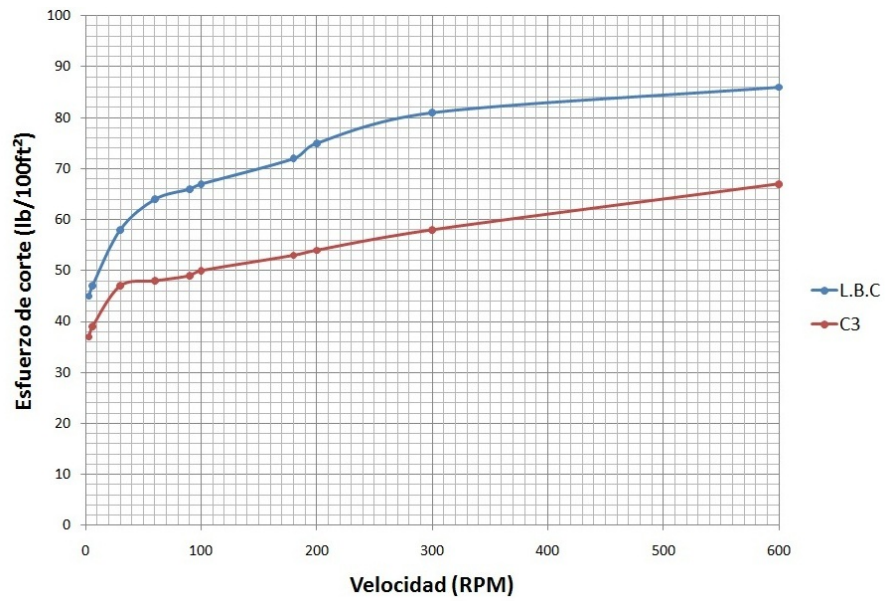
Fuente: Los Autores.

Figura 4.37. Fase 06. Comparación Comportamiento reológico a C2



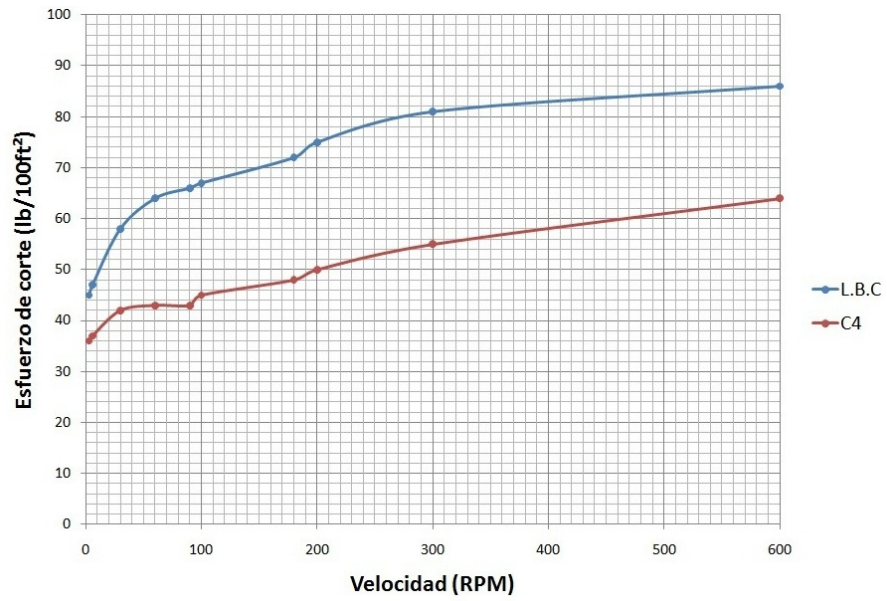
Fuente: Los Autores.

Figura 4.38. Fase 06. Comparación Comportamiento reológico a C3



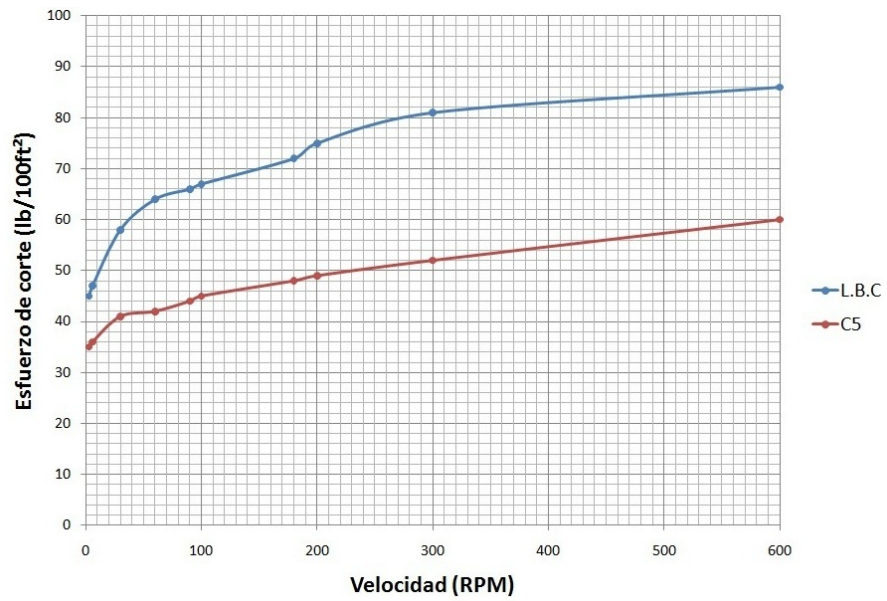
Fuente: Los Autores.

Figura 4.39. Fase 06. Comparación Comportamiento reológico a C4



Fuente: Los Autores.

Figura 4.40. Fase 06. Comparación Comportamiento reológico a C5



Fuente: Los Autores.

Comentarios

Tabla 4.41: En esta tabla se establece una comparación entre el lodo base contaminado con sal y 5 lodos a diferentes concentraciones contaminados con sal y tratados con R.P.T. La densidad permanece constante para los 6 lodos, por tanto, la resina de plátano no afecta este parámetro. En cuanto el pH, el valor de este en todos los lodos se encuentra en el rango óptimo de trabajo (7.5 -11.5), se observa un decrecimiento de esta medida conforme aumenta la concentración de la resina, aunque poco significativo, esto puede deberse a la alcalinidad y/o dilución de esta en el lodo. Ninguno de los seis lodos presenta un revoque de características óptimas. De las pruebas químicas se observa un aumento de salinidad, en referencia al lodo base contaminado con sal (4125 ppm de $NaCl$), constante para los lodos con concentraciones C1, C2 y C3 (4950 ppm de $NaCl$), para los lodos de concentraciones C4 y C5, este aumento es de 5775 y 6600 ppm de $NaCl$ respectivamente; es posible que este comportamiento sea debido a una reacción química presente entre la bentonita y las resina de plátano. En cuanto a la dureza, se observa una disminución de los iones Ca^{++} , conforme aumenta la concentración de la resina, para el lodo con concentración C5 este parámetro disminuye en una relación 5:1 respecto al lodo base contaminado con sal, por lo que se podría decir que la resina de plátano actúa como agente secuestrante de iones Ca^{++} .

Figura 4.35: El volumen del filtrado API disminuye conforme aumenta la concentración de la resina usada para los 5 lodos tratados con R.P.T y contaminados con sal, este proceso es eficiente, con respecto al lodo base contaminado con sal, el lodo con concentración C1 disminuye el volumen de filtrado en 21%, mientras que para los lodos con concentraciones C2 y C3 esta disminución es del

50 %, optimizando el proceso para los lodos concentraciones C3 y C4, con una disminución del volumen del 54 %.

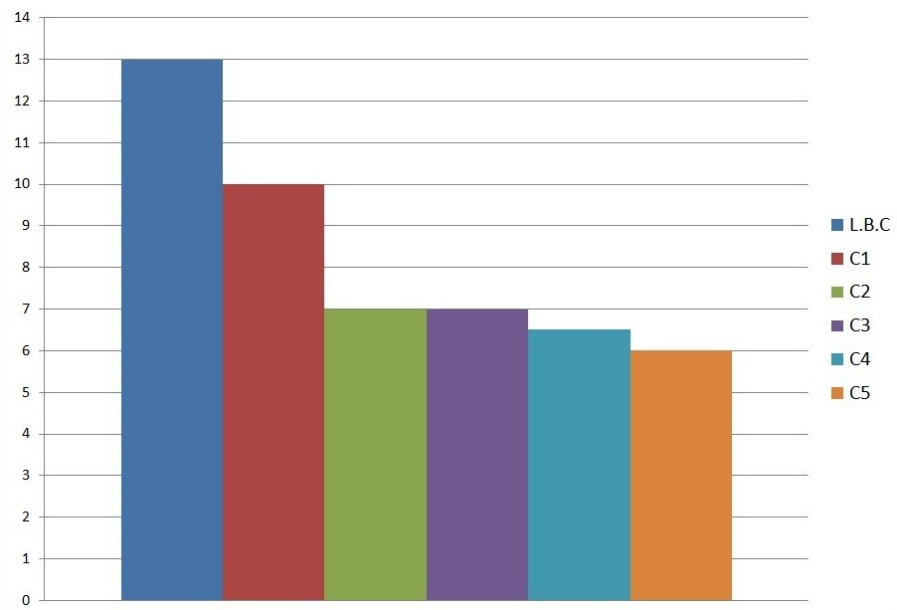
Figuras 4.36, 4.37, 4.38, 4.39 y 4.40: El comportamiento reológico de los lodos contaminados con sal y tratados con R.P.T es similar al comportamiento del lodo base contaminado con sal, sin embargo, los valores de la Viscosidad aparente y el esfuerzo de corte máximo para la lectura de 600 RPM en los lodos con concentraciones C1 y C2, son más aproximados a este, como se mostro en la Figura 4.35 el lodo con concentración C2, disminuye el volumen de filtrado del lodo base contaminado con sal en un 50 %, es por esta razón, pese a que las reología del lodo con concentración C1 es la más cercana a este tipo de lodo base, se tomará para la evaluación el lodo con concentración C2, teniendo en cuenta que la reología por no poseer valores muy altos puede ser controlada y que el volumen de filtrado es el parámetro principal para la evaluación de este proyecto.

Tabla 4.42. Fase 07. Caracterización del L.B contaminado con cal y tratado con R.P.T.

Cal (0,1lb/BB)							
parámetro	Unidades	L.B.C	C1	C2	C3	C4	C5
Volumen de Filtrado API	mL	13	10	7	7	6.5	6
Densidad	lb/gal	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8
pH	****	12.02	11.7	11.95	12.30	12.26	12.15
Reología							
θ 600	lb/100ft ²	35	33	29	26	23	19
θ 300	lb/100ft ²	30	29	27	23	20	18
θ 200	lb/100ft ²	24	22	21	20	19	17
θ 180	lb/100ft ²	22	20	18	17	16	15
θ 100	lb/100ft ²	17	15	14	13	11	10
θ 90	lb/100ft ²	16	14	13	12	10	9
θ 60	lb/100ft ²	14	11	10	10	8	7
θ 30	lb/100ft ²	11	9	9	8	7	5
θ 6	lb/100ft ²	7	6	5	5	4	3
θ 3	lb/100ft ²	6	5	4	4	3	3
Esfuerzo de Gel (10 s)	lb/100ft ²	15	29	35	39	43	46
Viscosidad Plástica (VP)	cp	5	4	2	3	3	1
Viscosidad Aparente (VA)	cp	17.5	16.5	14.5	13	11.5	9.5
Punto Cedente (PC)	cp	25	25	25	20	17	17
Análisis de torta							
Espesor	in	1/32	1/32				
Película	****			X	X	X	X
Plástica	****		X	X		X	
Quebradiza	****	X			X		X
Consistente	****	X	X	X	X	X	X
Inconsistente	****						
Pruebas Químicas							
Alcalinidad							
Pf	****	0.1	0.05	0.05	0	0	0
Mf	****	0.2	0.15	0.15	0.1	0.1	0.1
Salinidad							
Concentración de AgNO3	ppm	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Cl ⁻	ppm	200	250	250	250	300	350
NaCl	ppm	330	412.5	412.5	412.5	495	577.5
Dureza							
Ca ⁺⁺	ppm	180	120	120	100	60	40

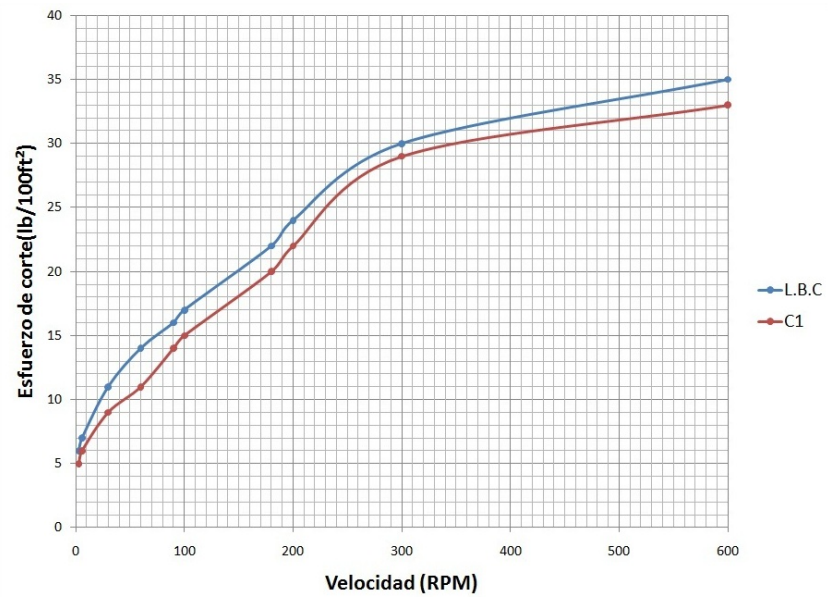
Fuente: Los Autores

Figura 4.41. Fase 07. Filtrado API



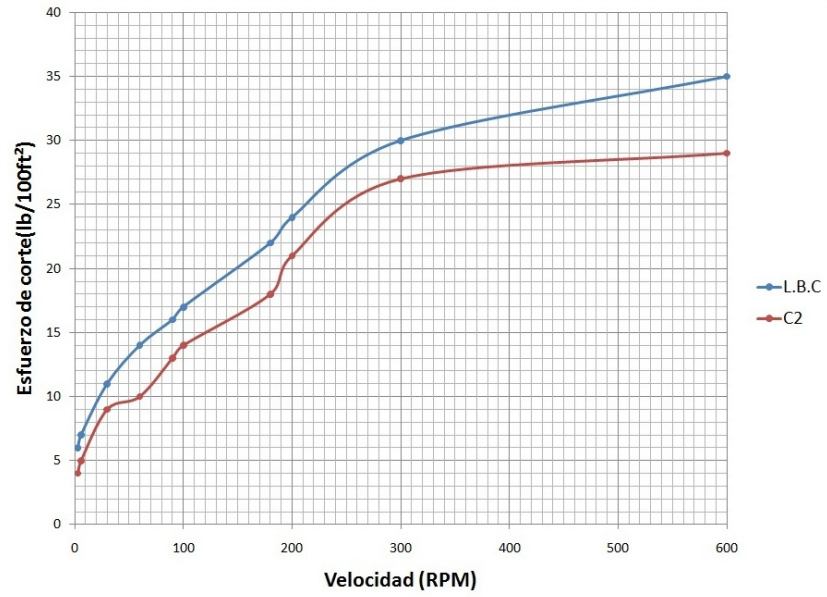
Fuente: Los Autores

Figura 4.42. Fase 07. Comparación Comportamiento reológico a C1



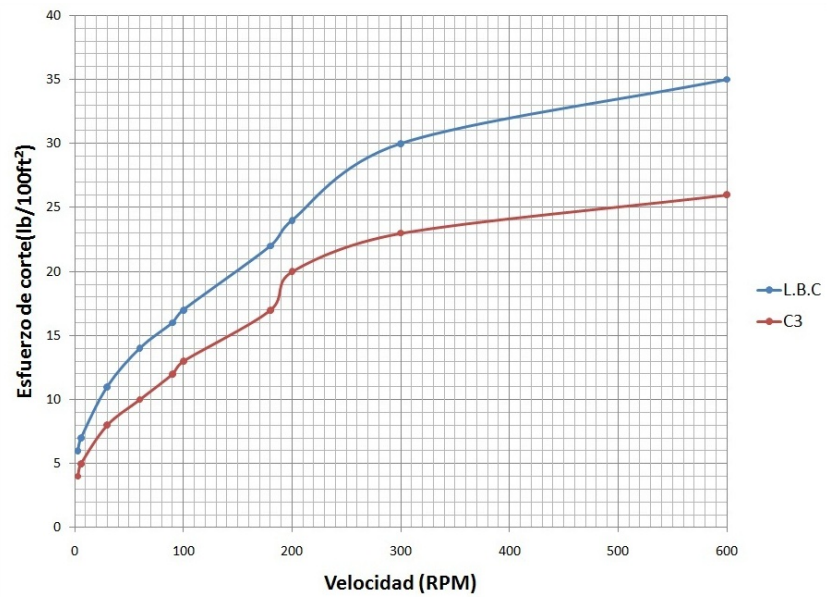
Fuente: Los Autores.

Figura 4.43. Fase 07. Comparación Comportamiento reológico a C2



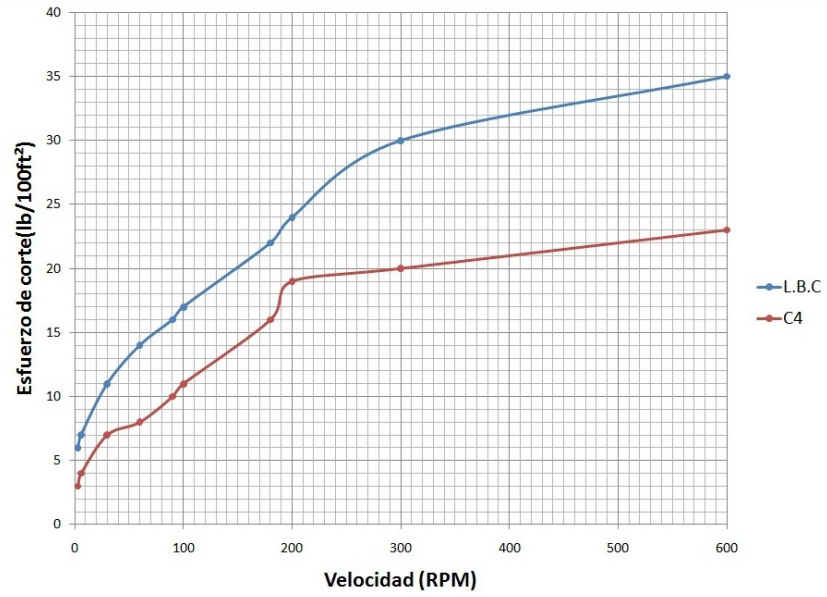
Fuente: Los Autores.

Figura 4.44. Fase 07. Comparación Comportamiento reológico a C3



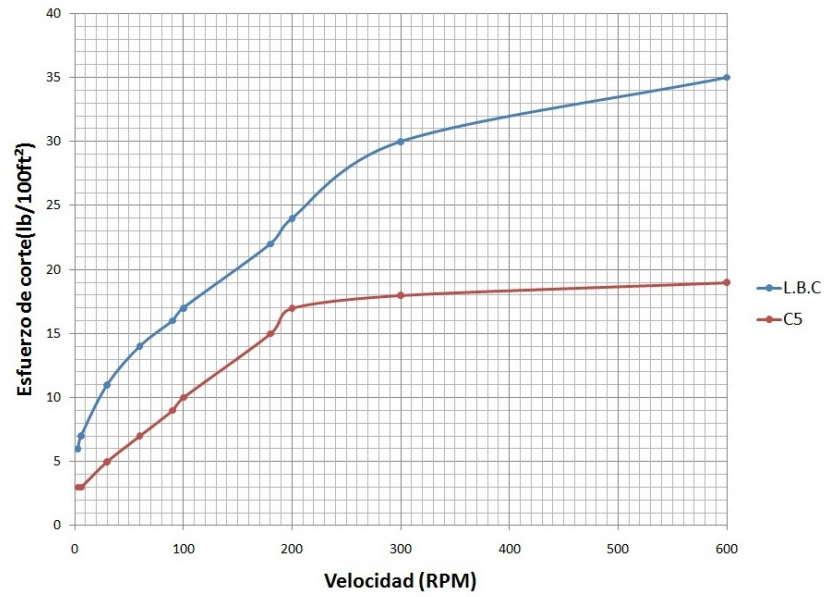
Fuente: Los Autores.

Figura 4.45. Fase 07. Comparación Comportamiento reológico a C4



Fuente: Los Autores.

Figura 4.46. Fase 07. Comparación Comportamiento reológico a C5



Fuente: Los Autores.

Comentarios

Tabla 4.42: En esta tabla se establece una comparación entre el lodo base contaminado con cal y 5 lodos contaminados con cal y tratados con R.P.T a diferentes concentraciones. La densidad permanece constante para los 6 lodos, por tanto, la resina de plátano no afecta este parámetro. En cuanto el pH, el valor de este en todos los lodos se encuentra por encima del rango óptimo de trabajo (7.5 -11.5), además, se registra un comportamiento anormal a medida que aumenta la concentración de resina. El lodo tratado con R.P.T y concentración C1 presenta un revoque de características óptimas. De las pruebas químicas se observa un aumento de salinidad, en referencia al lodo base contaminado con sal (330 *ppm* de *NaCl*), constante para los lodos con concentraciones C1, C2 y C3 (412.5 *ppm* de *NaCl*), para los lodos de concentraciones C4 y C5, este aumento es de 495 y 577.5 *ppm* de *NaCl* respectivamente; es posible que este comportamiento sea debido a una reacción química presente entre la bentonita y la resina de plátano. En cuanto a la dureza, se observa una disminución de los iones Ca^{++} , conforme aumenta la concentración de la resina, para el lodo con concentración C5 este parámetro disminuye en una relación aproximada de 5:1 respecto al lodo base contaminado con sal, por lo que se podría decir que la resina de plátano actúa como agente secuestrante de iones Ca^{++} .

Figura 4.41: El volumen de filtrado API disminuye conforme aumenta la concentración de resina usada para los 5 lodos tratados con R.P.T y contaminados con cal, este proceso es eficiente, con respecto al lodo base contaminado con cal, el lodo con concentración C1 disminuye el volumen de filtrado en 23%, mientras que para los lodos con concentraciones C2 y C3 esta disminución es del 46%, optimizando el proceso para los lodos concentraciones C3 y C4, con una disminución del volumen de filtrado del 50% y 54%, respectivamente.

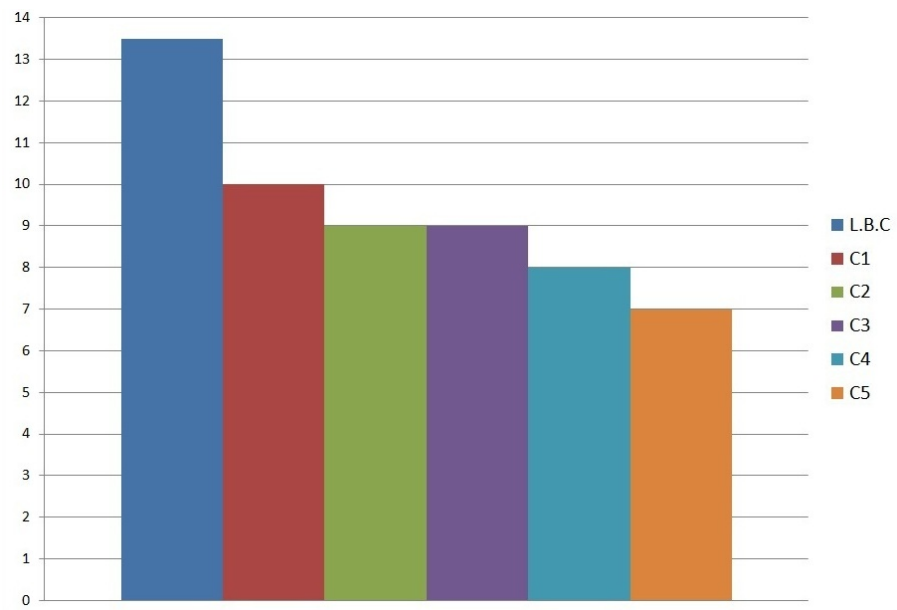
Figuras 4.42, 4.43, 4.44, 4.45 y 4.46: El comportamiento reológico de los lodos contaminados con cal y tratados con R.P.T es similar al comportamiento del lodo base contaminado con cal, sin embargo, los valores de la Viscosidad aparente y el esfuerzo de corte máximo para la lectura de 600 RPM en los lodos con concentraciones C1 y C2, son más aproximados a este, como se mostro en la Figura 4.41 el lodo con concentración C2, disminuye el volumen de filtrado del lodo base contaminado con cal en un 46 %, es por esta razón, pese a que las reología del lodo con concentración C1 es la más cercana a este tipo de lodo base, se tomará para la evaluación, el lodo con concentración C2, teniendo en cuenta que la reología por no poseer valores muy altos puede ser controlada, el valor de la Viscosidad aparente para el lodo R.P.T con concentración C2 (14.5 *cp.*) es cercano al valor determinante para el rendimiento de cualquier tipo de arcilla (15 *cp.*) y que el volumen de filtrado es el parámetro principal para la evaluación de este proyecto.

Tabla 4.43. Fase 08. Caracterización del L.B contaminado con yeso y tratado con R.P.T.

Yeso (0,25lb/BB)							
parámetro	Unidades	L.B.C	C1	C2	C3	C4	C5
Volumen de Filtrado API	mL	13.5	10	9	9	8	7
Densidad	lb/gal	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8
pH	****	8.16	9.66	10.56	10.30	10.11	10.02
Reología							
θ 600	lb/100ft ²	37	33	23	20	17	14
θ 300	lb/100ft ²	31	25	20	18	16	13
θ 200	lb/100ft ²	26	22	18	17	14	11
θ 180	lb/100ft ²	25	21	17	16	14	10
θ 100	lb/100ft ²	21	18	15	14	12	8
θ 90	lb/100ft ²	20	18	15	13	11	8
θ 60	lb/100ft ²	19	17	14	12	10	7
θ 30	lb/100ft ²	17	15	12	10	8	5
θ 6	lb/100ft ²	13	14	11	9	7	4
θ 3	lb/100ft ²	10	13	10	8	7	4
Esfuerzo de Gel (10 s)	lb/100ft ²	24	20	24	30	39	48
Viscosidad Plástica (VP)	cp	6	8	3	2	1	1
Viscosidad Aparente (VA)	cp	18.5	16.5	11.5	10	8.5	7
Punto Cedente (PC)	cp	25	17	17	16	15	12
Análisis de torta							
Espesor	in	1/32	1/32				
Película	****			X	X	X	X
Plástica	****			X		X	
Quebradiza	****	X	X		X		X
Consistente	****	X	X	X	X	X	X
Inconsistente	****						
Pruebas Químicas							
Alcalinidad							
Pf	****	0	0	0	0	0	0
Mf	****	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Salinidad							
Concentración de AgNO3	ppm	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Cl ⁻	ppm	150	150	150	200	200	250
NaCl	ppm	247.5	247.5	247.5	330	330	412.5
Dureza							
Ca ⁺⁺	ppm	140	20	20	20	20	20

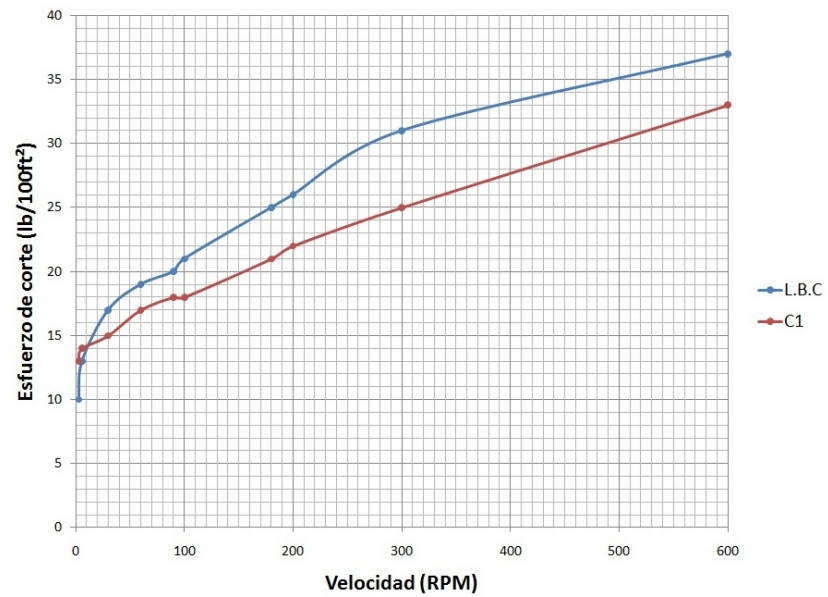
Fuente: Los Autores

Figura 4.47. Fase 08. Filtrado API



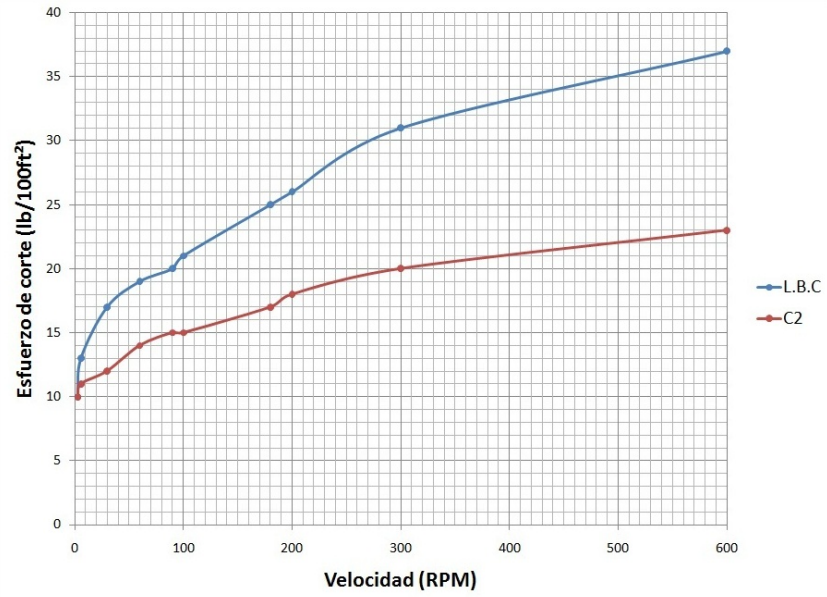
Fuente: Los Autores

Figura 4.48. Fase 08. Comparación Comportamiento reológico a C1



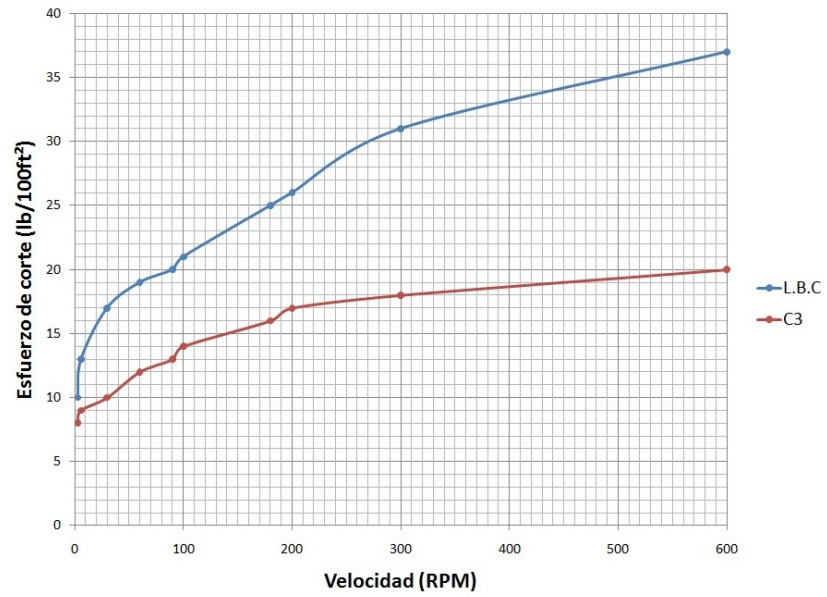
Fuente: Los Autores.

Figura 4.49. Fase 08. Comparación Comportamiento reológico a C2



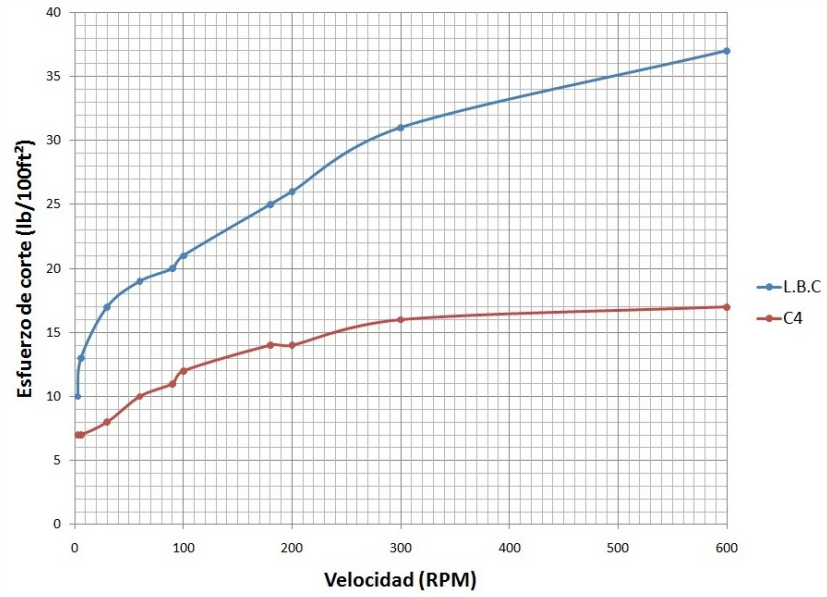
Fuente: Los Autores.

Figura 4.50. Fase 08. Comparación Comportamiento reológico a C3



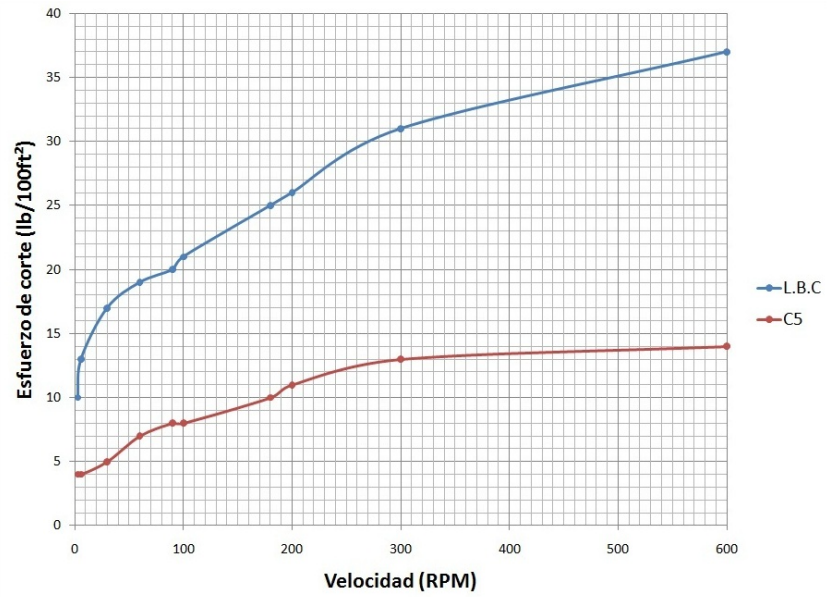
Fuente: Los Autores.

Figura 4.51. Fase 08. Comparación Comportamiento reológico a C4



Fuente: Los Autores.

Figura 4.52. Fase 08. Comparación Comportamiento reológico a C5



Fuente: Los Autores.

Comentarios

Tabla 4.43: En esta tabla se establece una comparación entre el lodo base contaminado con yeso y 5 lodos a diferentes concentraciones contaminados con yeso y tratados con R.P.T. La densidad permanece constante para los 6 lodos, por tanto, la resina de plátano no afecta este parámetro. En cuanto el pH, el valor de este en todos los lodos se encuentra en el rango óptimo de trabajo (7.5 -11.5), registrando un comportamiento anormal a medida que aumenta la concentración. Ninguno de los seis lodos presenta un revoque de características óptimas. De las pruebas químicas se observa un comportamiento en la salinidad, constante para los lodos base contaminado con yeso y con concentraciones C1 y C2 (247.5 ppm de *NaCl*), aumentando para los lodos con concentraciones C3 y C4 (330 ppm de *NaCl*) y registrando un aumento de casi el doble para el lodo con concentración C5 (412.5 ppm de *NaCl*); es posible que este comportamiento sea debido a una reacción química presente entre la bentonita y la resina de plátano. En cuanto a la dureza, se observa una disminución en relación 5:1 respecto al lodo base contaminado de los iones Ca^{++} , constante para los 5 lodos tratados con R.P.T y contaminados con yeso, por lo que se deduce un evidente comportamiento de la resina de plátano actúa como agente secuestrante de iones Ca^{++} .

Figura 4.47: El volumen del filtrado API disminuye conforme aumenta la concentración usada para los 5 lodos tratados con R.P.T y contaminados con yeso, este proceso es eficiente, con respecto al lodo base contaminado con yeso, el lodo con concentración C1 disminuye el volumen de filtrado en 26 %, mientras que para los lodos con concentraciones C2 y C3 esta disminución es del 33 %, optimizando el proceso para los lodos concentraciones C3 y C4, con una disminución del volumen del 41 % y 48 %, respectivamente.

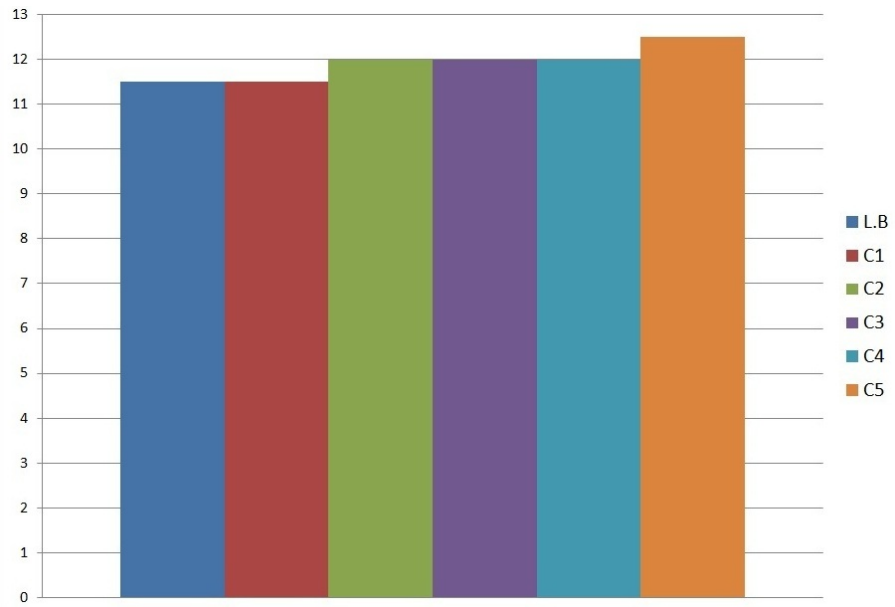
Figuras 4.48, 4.49, 4.50, 4.51 y 4.52: El comportamiento reológico de los lodos contaminados con yeso y tratados con R.P.T en concentraciones C1 y C2 es el más cercano, para lodos con concentraciones C3, C4 y C5, las propiedades reológicas son notablemente menores que las presentadas por el lodo base contaminado con yeso. El lodo con concentración C1 registra un volumen de filtrado igual al lodo base contaminado, el lodo con concentración C2, disminuye el volumen de filtrado yeso en un 33%, es por esta razón, pese a que la reología del lodo con concentración C1 es la más cercana a este tipo de lodo base, se tomará para la evaluación, el lodo con concentración C2, teniendo en cuenta que la reología por no poseer valores muy altos puede ser controlada, el valor de la Viscosidad aparente para el lodo R.P.T con concentración C2 (11.5 *cp.*) no es tan distante del valor determinante para el rendimiento de cualquier tipo de arcilla (15 *cp*) y que el volumen de filtrado es el parámetro principal para la evaluación de este proyecto.

Tabla 4.44. Fase 09. Caracterización del L.B tratado con R.P.R.T.

parámetro	Unidades	L.B	C1	C2	C3	C4	C5
Volumen de Filtrado API	mL	11.5	11.5	12	12	12	12.5
Densidad	lb/gal	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8
pH	*****	11.37	9.63	9.54	9.23	9.04	8.95
Reología							
θ 600	lb/100ft ²	30	37	39	44	54	65
θ 300	lb/100ft ²	25	26	27	32	41	50
θ 200	lb/100ft ²	20	22	23	28	36	43
θ 180	lb/100ft ²	18	21	22	27	34	41
θ 100	lb/100ft ²	12	17	19	23	27	33
θ 90	lb/100ft ²	11	16	18	22	25	31
θ 60	lb/100ft ²	9	15	16	20	22	27
θ 30	lb/100ft ²	6	13	14	18	18	23
θ 6	lb/100ft ²	4	12	13	15	16	17
θ 3	lb/100ft ²	3	11	12	14	14	15
Esfuerzo de Gel (10 s)	lb/100ft ²	5	10	12	15	17	20
Viscosidad Plástica (VP)	cp	5	11	12	12	13	15
Viscosidad Aparente (VA)	cp	15	18.5	19.5	22	27	32.5
Punto Cedente (PC)	cp	20	15	15	20	28	35
Análisis de torta							
Espesor	in	1/32	1/32	1/32			
Película	*****				X	X	X
Plástica	*****						
Quebradiza	*****	X	X	X	X	X	X
Consistente	*****	X	X	X	X	X	X
Inconsistente	*****						
Pruebas Químicas							
Alcalinidad							
Pf	*****	0.05	0	0	0	0	0
Mf	*****	0.1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Salinidad							
Concentración de AgNO3	ppm	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Cl ⁻	ppm	150	250	250	300	400	500
NaCl	ppm	247.5	412.5	412.5	495	660	825
Dureza							
Ca ⁺⁺	ppm	100	80	80	60	40	20

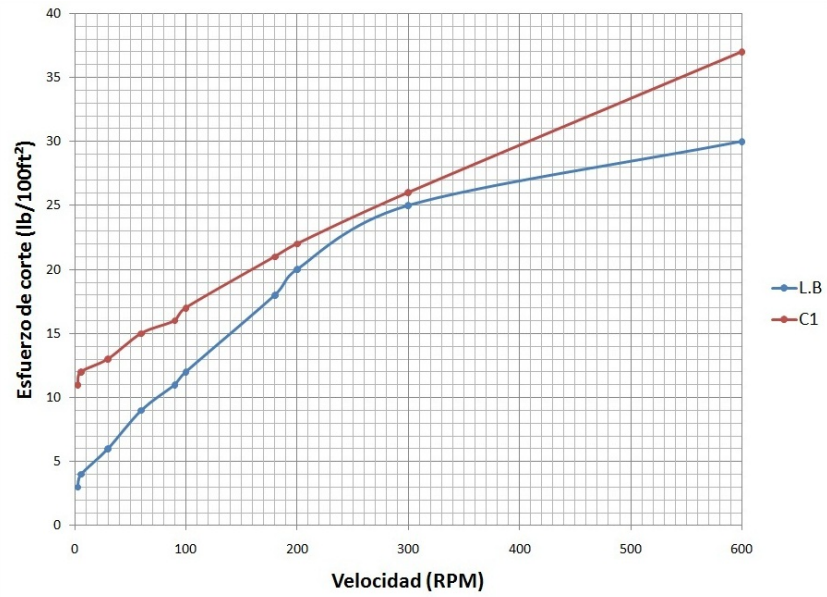
Fuente: Los Autores

Figura 4.53. Fase 09. Filtrado API



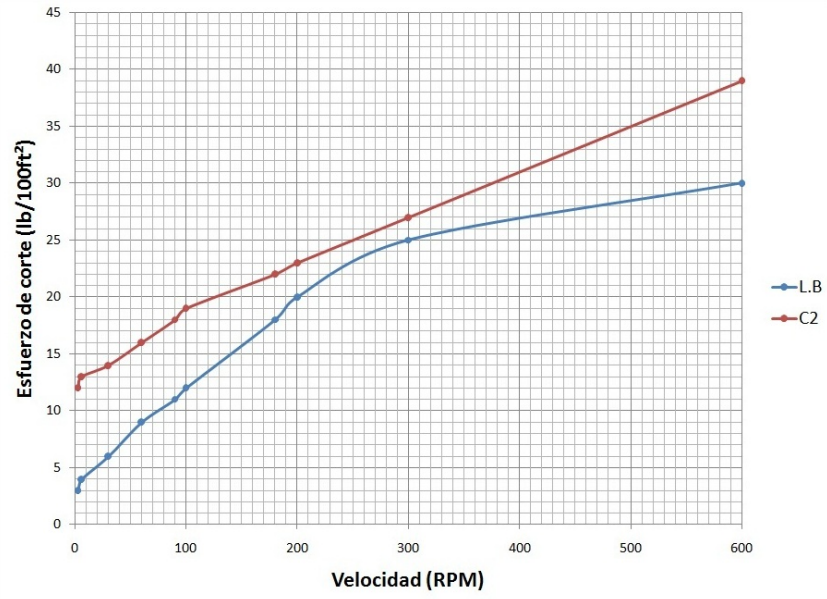
Fuente: Los Autores

Figura 4.54. Fase 09. Comparación Comportamiento reológico a C1



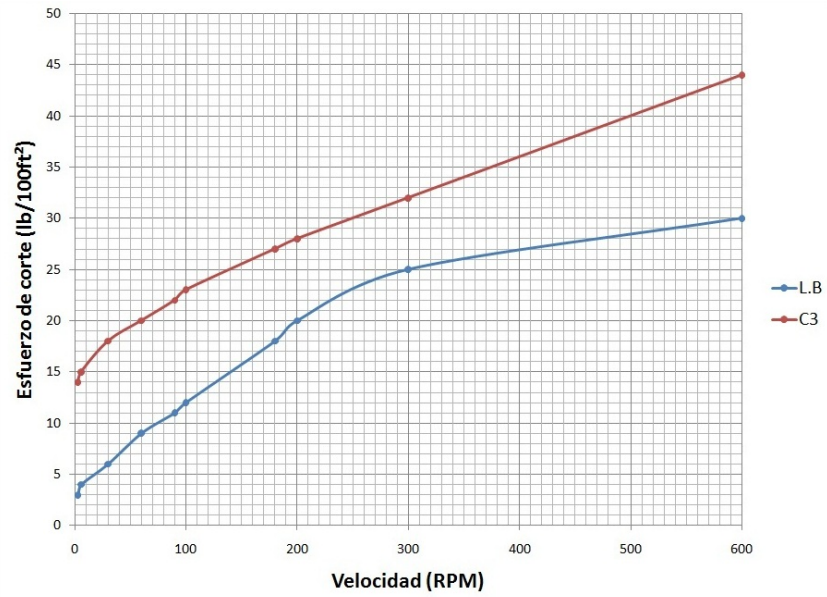
Fuente: Los Autores.

Figura 4.55. Fase 09. Comparación Comportamiento reológico a C2



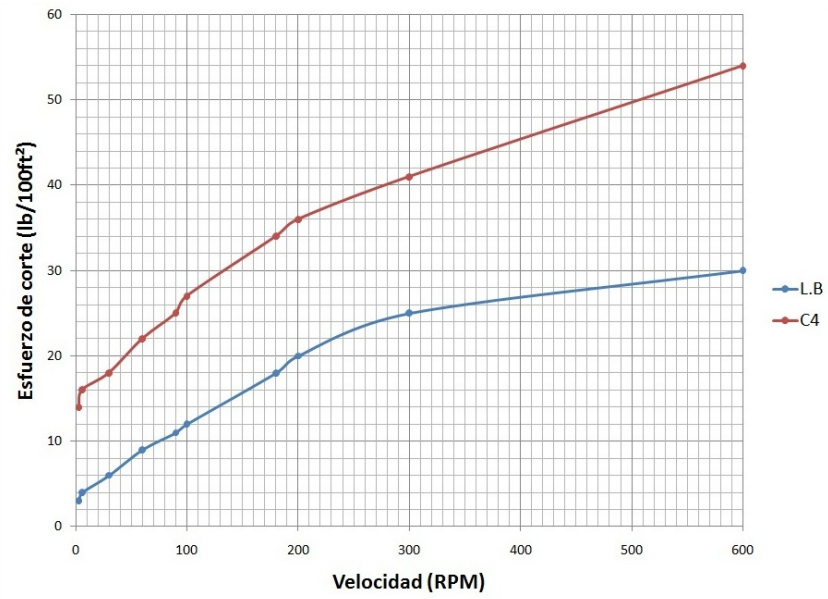
Fuente: Los Autores.

Figura 4.56. Fase 09. Comparación Comportamiento reológico a C3



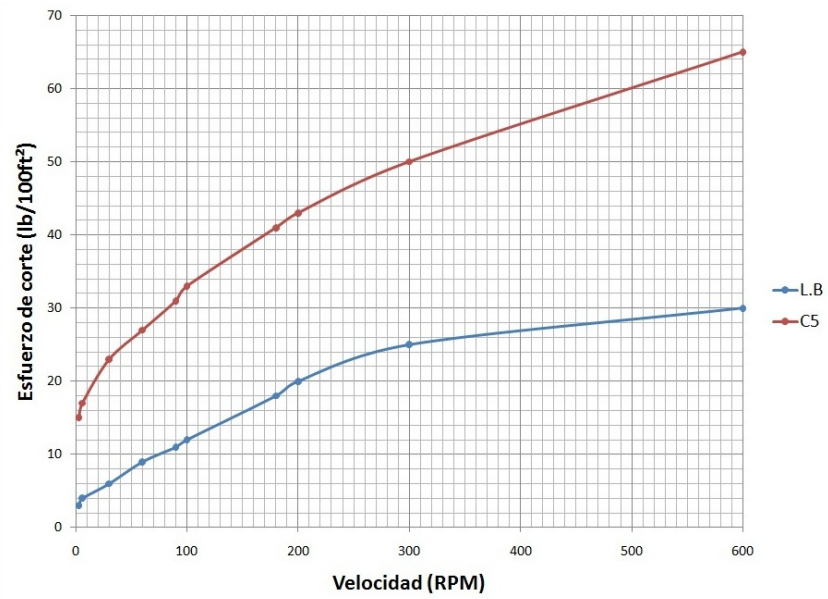
Fuente: Los Autores.

Figura 4.57. Fase 09. Comparación Comportamiento reológico a C4



Fuente: Los Autores.

Figura 4.58. Fase 09. Comparación Comportamiento reológico a C5



Fuente: Los Autores.

Comentarios

Tabla 4.44: En esta tabla se establece una comparación entre el lodo base y 5 lodos con resina de plátano reducida tratada con bactericida, obtenidos a diferentes concentraciones. La densidad permanece constante para los 6 lodos, por tanto, la resina de plátano no afecta este parámetro. En cuanto el pH, el valor de este en todos los lodos se encuentra en el rango óptimo de trabajo (7.5 -11.5), se observa un decrecimiento de esta medida conforme aumenta la concentración de la resina, aunque poco significativo, esto puede deberse al pH bajo de la resina y/o dilución de esta en el lodo. Ninguno de los seis lodos presenta un revoque de características óptimas. De las pruebas químicas se observa un aumento de salinidad, en referencia al lodo base (247,5 ppm de NaCl), constante para los lodos con concentraciones C1 y C2 (412.5 ppm de NaCl), para los lodos de concentraciones C3, C4 y C5, este aumento es de 495, 660 y 825 ppm de NaCl respectivamente; es posible que este comportamiento sea debido a una reacción química presente entre la bentonita y las resina de plátano. En cuanto a la dureza, se observa una disminución de los iones Ca^{++} , conforme aumenta la concentración de la resina, por lo que se podría decir que la resina de plátano actúa como agente secuestrante de iones Ca^{++} .

Figura 4.53: Para un lodo sin contaminantes el control de pérdida de filtrado representa un proceso de escasa eficiencia, estableciendo la comparación entre el lodo base y los 5 lodos con resina de plátano estudiados en esta fase, se obtiene como resultado una pérdida de filtrado, igual para el lodo con concentración de resina C1 y una pérdida de filtrado mayor para los otros cuatro lodos.

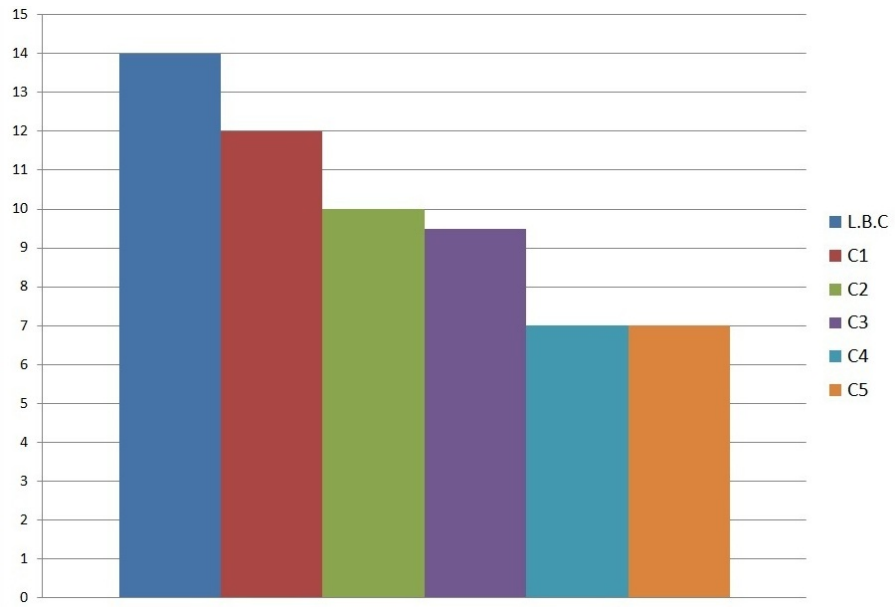
Figuras 4.54, 4.55, 4.56, 4.57 y 4.58: El comportamiento reológico de los lodos con resina de plátano reducida tratada con bactericida aumenta conforme aumenta la concentración de la resina, por lo que se evidencia un probable comportamiento de la resina de plátano como agente viscosificante. Se toma el lodo tratado con R.P.R.T con concentración C1 para la evaluación, por su cercanía de propiedades reológicas y por ser el de menor pérdida de filtrado de los 5 lodos tratados con esta resina esta cercano al comportamiento del lodo base, sin embargo, la reología del lodo con R.P.R.T con concentración C1, presenta mayor similitud, el esfuerzo de corte máximo para la lectura de 600 RPM ($30 \text{ lb}/100\text{ft}^2$), aunque está por debajo de las condiciones óptimas de trabajo encontradas en la práctica para un lodo de perforación ($45\text{-}50 \text{ lb}/100\text{ft}^2$) base agua, es un parámetro de fácil control, además se tiene a favor que la Viscosidad aparente para el lodo R.P.T con concentración C1, corresponde al mismo valor del registrado por el lodo base (15 cp), el cual, es un buen punto de partida, teniendo en cuenta que es a este valor es el determinante para el rendimiento de cualquier tipo de arcilla.

Tabla 4.45. Fase 10. Caracterización del L.B contaminado con sal y tratado con R.P.R.T.

Sal (1,5lb/BB)							
parámetro	Unidades	L.B.C	C1	C2	C3	C4	C5
Volumen de Filtrado API	mL	14	12	10	9.5	7	7
Densidad	lb/gal	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8
pH	****	8.54	8.41	8.38	8.23	8.19	8.18
Reologia							
θ 600	lb/100ft ²	86	83	52	45	42	34
θ 300	lb/100ft ²	81	73	44	38	35	28
θ 200	lb/100ft ²	75	68	43	36	32	25
θ 180	lb/100ft ²	72	67	42	35	31	24
θ 100	lb/100ft ²	67	63	39	33	29	22
θ 90	lb/100ft ²	66	62	38	32	28	21
θ 60	lb/100ft ²	64	59	37	31	27	20
θ 30	lb/100ft ²	58	57	35	29	26	18
θ 6	lb/100ft ²	47	49	30	26	23	17
θ 3	lb/100ft ²	45	48	29	25	21	16
Esfuerzo de Gel (10 s)	lb/100ft ²	49	70	30	40	40	45
Viscosidad Plástica (VP)	cp	5	10	8	7	7	6
Viscosidad Aparente (VA)	cp	43	41.5	26	22.5	21	17
Punto Cedente (PC)	cp	76	63	36	31	28	22
Análisis de torta							
Espesor	in	1/32					
Película	****		X	X	X	X	X
Plástica	****			X		X	
Quebradiza	****	X	X		X		X
Consistente	****		X	X	X	X	X
Inconsistente	****	X					
Pruebas Químicas							
Alcalinidad							
Pf	****	0	0	0	0	0	0
Mf	****	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Salinidad							
Concentración de AgNO3	ppm	10000	10000	10000	10000	10000	10000
Cl ⁻	ppm	2500	3000	3000	4000	4500	5000
NaCl	ppm	4125	4950	4950	6600	7425	8250
Dureza							
Ca ⁺⁺	ppm	100	100	100	100	80	80

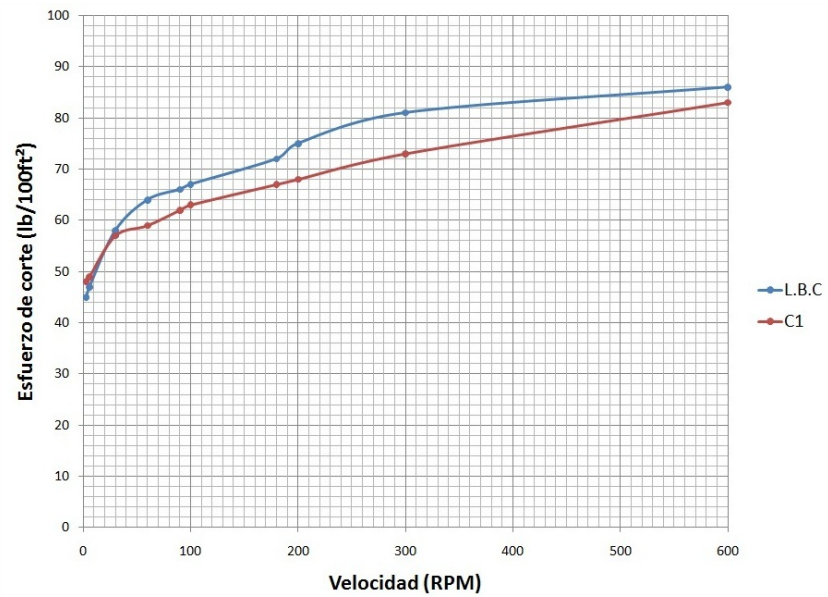
Fuente: Los Autores

Figura 4.59. Fase 10. Filtrado API



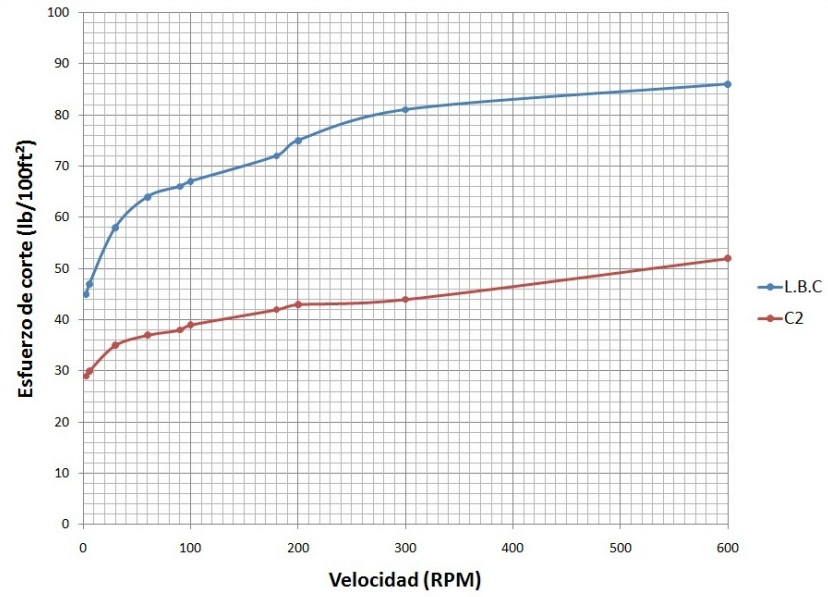
Fuente: Los Autores

Figura 4.60. Fase 10. Comparación Comportamiento reológico a C1



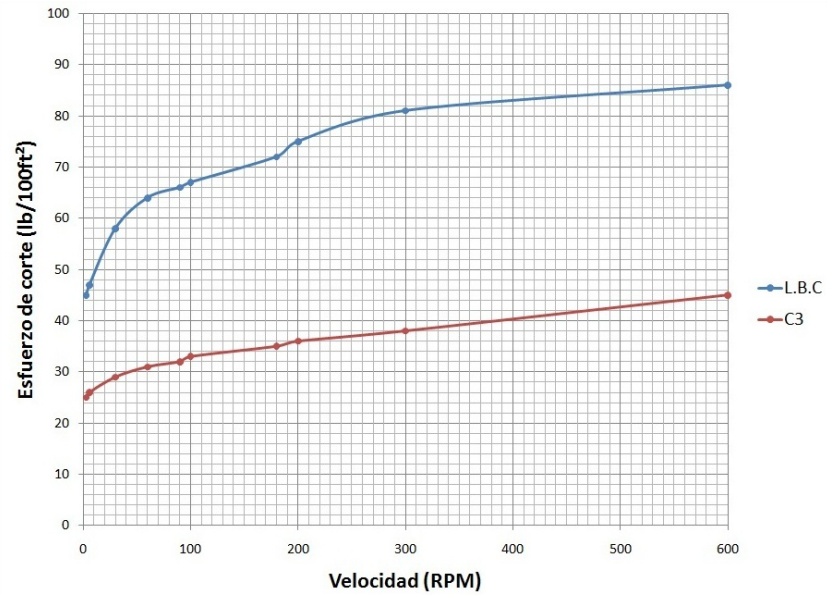
Fuente: Los Autores.

Figura 4.61. Fase 10. Comparación Comportamiento reológico a C2



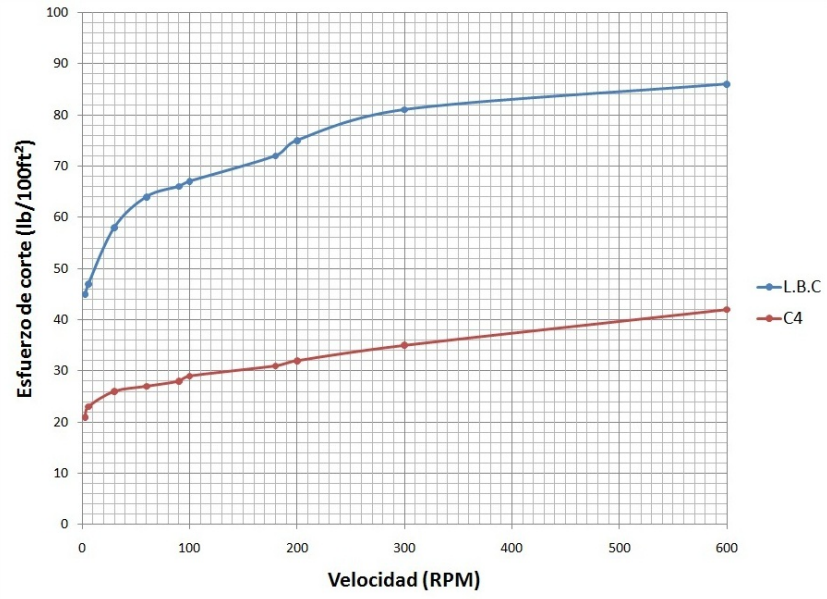
Fuente: Los Autores.

Figura 4.62. Fase 10. Comparación Comportamiento reológico a C4



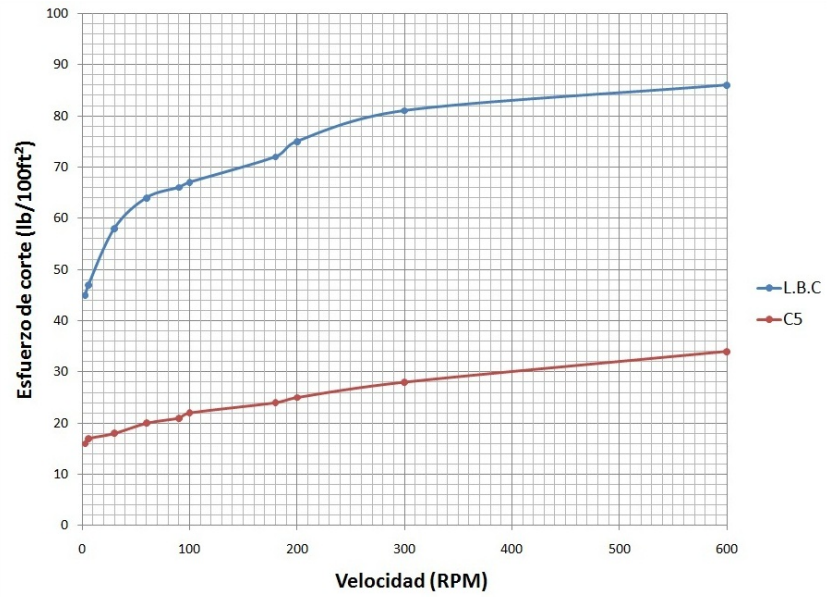
Fuente: Los Autores.

Figura 4.63. Fase 10. Comparación Comportamiento reológico a C4



Fuente: Los Autores.

Figura 4.64. Fase 10. Comparación Comportamiento reológico a C5



Fuente: Los Autores.

Comentarios

Tabla 4.45: En esta tabla se establece una comparación entre el lodo base y 5 lodos con resina de plátano reducida tratada con bactericida, obtenidos a diferentes concentraciones. La densidad permanece constante para los 6 lodos, por tanto, la resina de plátano no afecta este parámetro. En cuanto el pH, el valor de este en todos los lodos se encuentra en el rango óptimo de trabajo (7.5 -11.5), se observa un decrecimiento de esta medida conforme aumenta la concentración de la resina, aunque poco significativo, esto puede deberse al pH bajo de la resina y/o dilución de esta en el lodo. Ninguno de los seis lodos presenta un revoque de características óptimas. De las pruebas químicas se observa un aumento de salinidad, en referencia al lodo base contaminado con sal (4125 ppm de *NaCl*), constante para los lodos con concentraciones C1 y C2 (4950 ppm de *NaCl*), para los lodos de concentraciones C3, C4 y C5, este aumento es de 6600, 7425 y 8250 ppm de *NaCl* respectivamente; es posible que este comportamiento sea debido a una reacción química presente entre la bentonita y las resina de plátano. En cuanto a la dureza, para el lodo base contaminado y los lodos con concentraciones C1, C2 y C3 las partes por millón de los iones Ca^{++} , permanece constante (100 ppm), mientras que para los lodos con concentraciones C4 y C5 se registra una leve disminución (80 ppm).

Figura 4.59: El volumen del filtrado API disminuye conforme aumenta la concentración de la resina usada para los 5 lodos tratados con R.PR.T y contaminados con sal, este proceso es eficiente, con respecto al lodo base contaminado con sal, el lodo con concentración C1 disminuye el volumen de filtrado en 14 %, mientras que para los lodos con concentraciones C2 y C3 esta disminución es del 28 y 32 %, optimizando el proceso para los lodos concentraciones C4 y C5, con una disminución del volumen del 50 %.

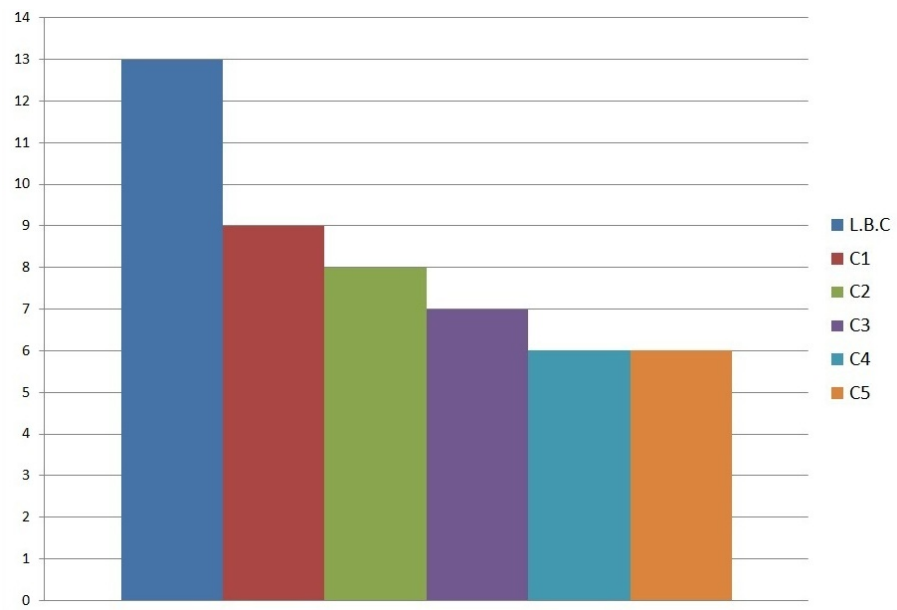
Figuras 4.60, 4.61, 4.62, 4.63 y 4.64: El comportamiento reológico de los lodos contaminados con sal y tratados con R.P.R.T es similar al comportamiento del lodo base contaminado con sal, sin embargo, los valores de la Viscosidad aparente y el esfuerzo de corte máximo para la lectura de 600 rpm en el lodo con concentración C1 es la más cercana a este, como se mostro en la Figura 4.59 el lodo con concentración C4, disminuye el volumen de filtrado del lodo base contaminado con sal en un 50 %, es por esta razón, pese a que las reología del lodo con concentración C1 es la más cercana a este tipo de lodo base, se tomará para la evaluación el lodo con concentración C4, teniendo en cuenta y que el volumen de filtrado es el parámetro principal para la evaluación de este proyecto y que el valor del esfuerzo máximo de corte para la lectura de 600 rpm ($42 \text{ lb}/100\text{ft}^2$) se encuentra dentro del rango de las condiciones óptimas de trabajo encontradas en la practica para un lodo de perforación ($45\text{-}50 \text{ lb}/100\text{ft}^2$).

Tabla 4.46. Fase 11. Caracterización del L.B contaminado con cal y tratado con R.P.R.T.

Cal (0,1lb/BB)							
parámetro	Unidades	L.B.C	C1	C2	C3	C4	C5
Volumen de Filtrado API	mL	13	9	8	7	6	6
Densidad	lb/gal	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8
pH	****	12.02	11.60	11.67	11.58	11.09	10.61
Reología							
θ 600	lb/100ft ²	35	28	22	19	16	14
θ 300	lb/100ft ²	30	24	17	15	12	9
θ 200	lb/100ft ²	24	18	13	10	9	7
θ 180	lb/100ft ²	22	17	12	9	8	6
θ 100	lb/100ft ²	17	13	8	7	6	5
θ 90	lb/100ft ²	16	12	7	6	5	5
θ 60	lb/100ft ²	14	10	6	5	4	4
θ 30	lb/100ft ²	11	9	5	4	4	3
θ 6	lb/100ft ²	7	7	4	3	3	3
θ 3	lb/100ft ²	6	6	3	3	3	2
Esfuerzo de Gel (10 s)	lb/100ft ²	15	14	15	27	38	45
Viscosidad Plástica (VP)	cp	5	4	5	4	4	5
Viscosidad Aparente (VA)	cp	17.5	14	11	9.5	8	7
Punto Cedente (PC)	cp	25	20	12	11	8	4
Análisis de torta							
Espesor	in	1/32	1/32				
Película	****			X	X	X	X
Plástica	****		X	X	X	X	X
Quebradiza	****	X					
Consistente	****	X	X	X	X	X	X
Inconsistente	****						
Pruebas Químicas							
Alcalinidad							
Pf	****	0.1	0.05	0.05	0	0	0
Mf	****	0.2	0.15	0.15	0.1	0.1	0.1
Salinidad							
Concentración de AgNO3	ppm	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Cl ⁻	ppm	200	150	150	150	100	100
NaCl	ppm	330	247.5	247.5	247.5	165	165
Dureza							
Ca ⁺⁺	ppm	180	40	40	40	20	20

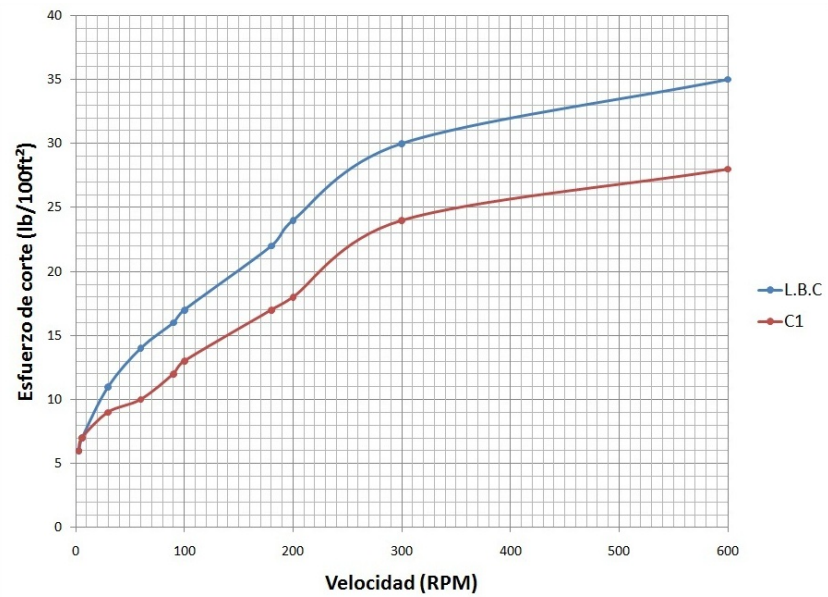
Fuente: Los Autores

Figura 4.65. Fase 11. Filtrado API



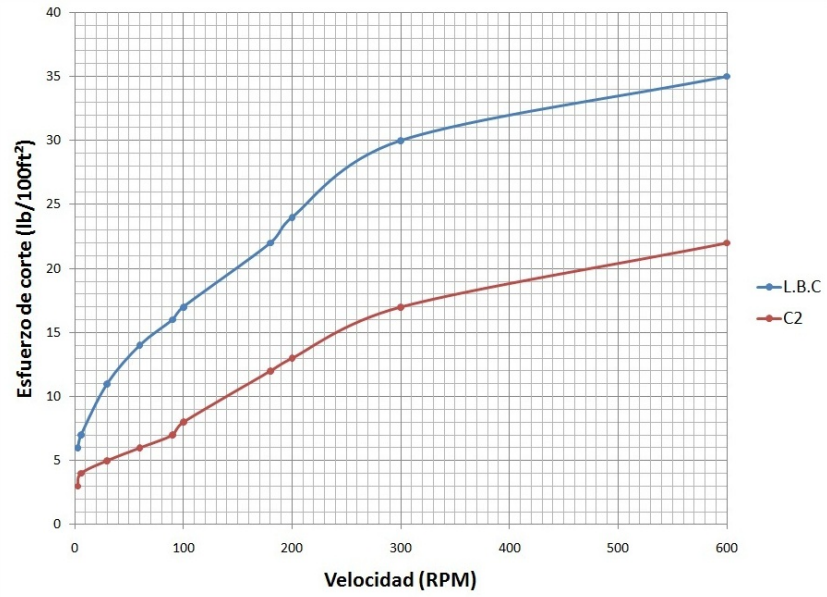
Fuente: Los Autores

Figura 4.66. Fase 11. Comparación Comportamiento reológico a C1



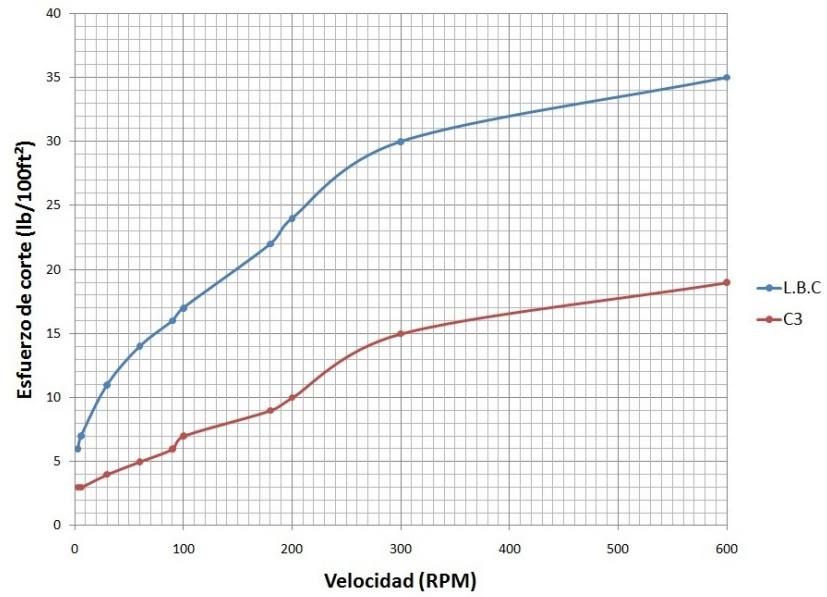
Fuente: Los Autores.

Figura 4.67. Fase 11. Comparación Comportamiento reológico a C2



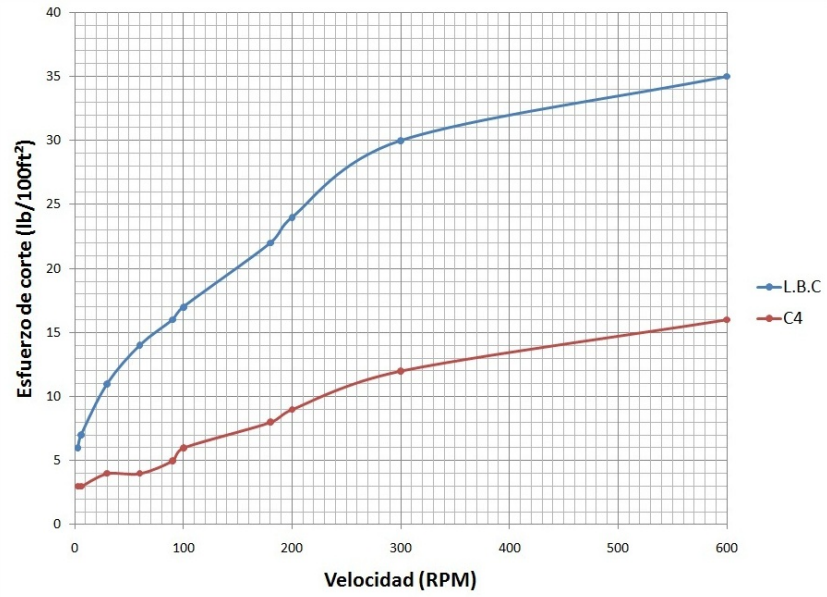
Fuente: Los Autores.

Figura 4.68. Fase 11. Comparación Comportamiento reológico a C3



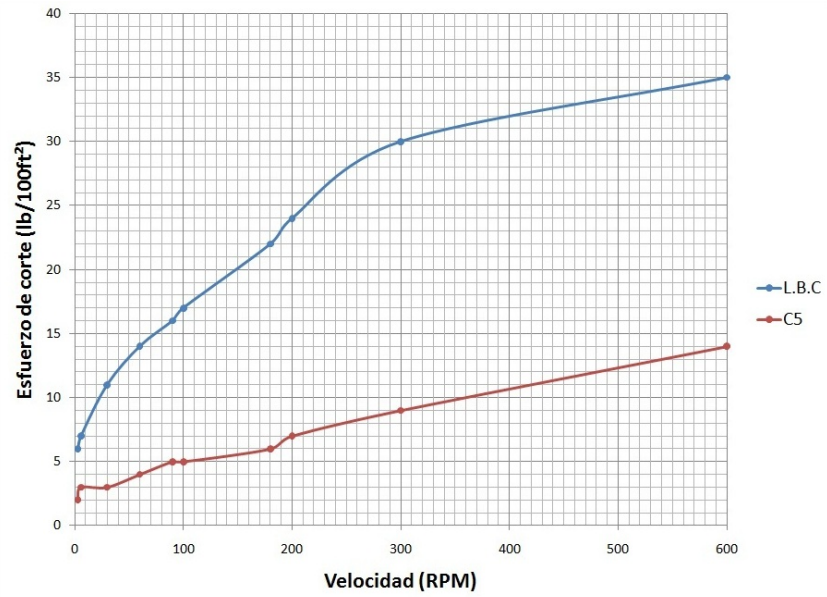
Fuente: Los Autores.

Figura 4.69. Fase 11. Comparación Comportamiento reológico a C4



Fuente: Los Autores.

Figura 4.70. Fase 11. Comparación Comportamiento reológico a C5



Fuente: Los Autores.

Comentarios

Tabla 4.46: En esta tabla se establece una comparación entre el lodo base contaminado con cal y 5 lodos contaminados con cal y tratados con R.P.R.T a diferentes concentraciones. La densidad permanece constante para los 6 lodos, por tanto, la resina de plátano no afecta este parámetro. En cuanto el pH, se observa un decrecimiento de esta medida conforme aumenta la concentración de la resina, el valor de este para los lodos base contaminado y los lodos con concentraciones C1, C2 y C3, se encuentra por encima del rango óptimo de trabajo (7.5 -11.5). El lodo tratado con R.P.T y concentración C1 presenta un revoque de características óptimas. De las pruebas químicas se observa un aumento de salinidad, en referencia al lodo base contaminado con cal (330 ppm de $NaCl$), constante para los lodos con concentraciones C1, C2 y C3 (247.5 ppm de $NaCl$) y para los lodos de concentraciones C4 y C5 un valor constante de 165 ppm de $NaCl$; es posible que este comportamiento sea debido a una reacción química presente entre la bentonita y la resina de plátano. En cuanto a la dureza, se observa una disminución de los iones Ca^{++} , conforme aumenta la concentración de la resina, para los lodos con concentraciones C1, C2 y C3 el valor de los iones Ca^{++} disminuye de 180 ppm a 40 ppm respecto al lodo base contaminado, mientras que para los lodos con concentraciones C4 y C5 este valor es aún menor (20 ppm).

Figura 4.65: El volumen de filtrado API disminuye conforme aumenta la concentración de resina usada para los 5 lodos tratados con R.P.T y contaminados con cal, este proceso es eficiente, con respecto al lodo base contaminado con cal, el lodo con concentración C1 disminuye el volumen de filtrado en 31 %, mientras que para los lodos con concentraciones C2 y C3 esta disminución es del 38 y 46 %, optimizando el proceso para los lodos concentraciones C4 y C5, con una disminución del volumen de filtrado del 54 %.

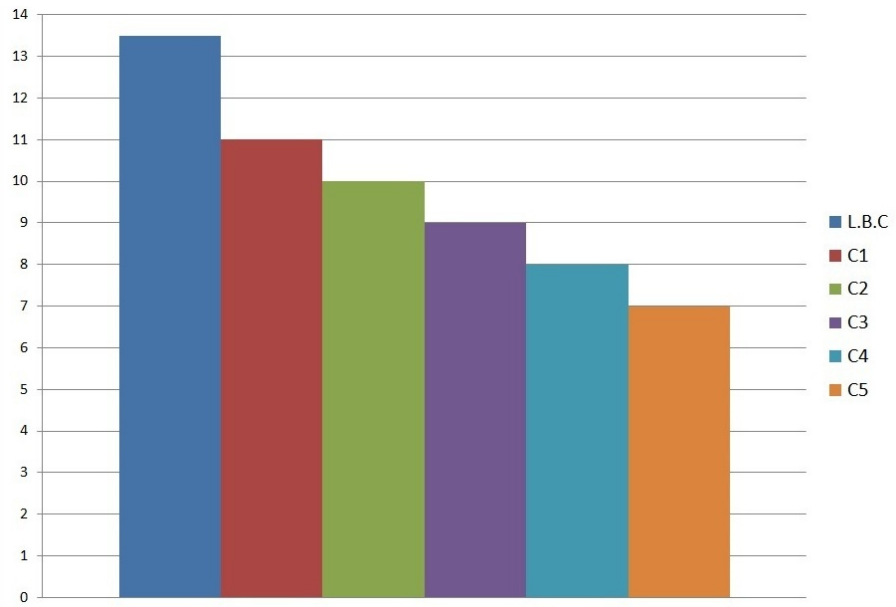
Figuras 4.66, 4.67, 4.68, 4.69 y 4.70: El comportamiento reológico de los lodos contaminados con cal y tratados con R.P.R.T es similar al comportamiento del lodo base contaminado con cal, sin embargo, los valores de la Viscosidad aparente y el esfuerzo de corte máximo para la lectura de 600 RPM en los lodos con concentraciones C1 y C2, son más aproximados a este, como se mostro en la Figura 4.65 el lodo con concentración C2, disminuye el volumen de filtrado del lodo base contaminado con cal en un 38 %, es por esta razón, pese a que las reología del lodo con concentración C1 es la más cercana a este tipo de lodo base, se tomará para la evaluación, el lodo con concentración C2, teniendo en cuenta que la reología por no poseer valores muy altos puede ser controlada y que el volumen de filtrado es el parámetro principal para la evaluación de este proyecto.

Tabla 4.47. Fase 12. Caracterización del L.B contaminado con yeso y tratado con R.P.R.T.

Yeso (0,25lb/BB)							
parámetro	Unidades	L.B.C	C1	C2	C3	C4	C5
Volumen de Filtrado API	mL	13.5	11	10	9	8	7
Densidad	lb/gal	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8
pH	*****	8.16	9.38	9.78	9.87	10.67	10.90
Reología							
θ 600	lb/100ft ²	37	26	19	17	15	12
θ 300	lb/100ft ²	31	19	13	12	11	10
θ 200	lb/100ft ²	26	16	11	10	9	8
θ 180	lb/100ft ²	25	15	10	10	8	7
θ 100	lb/100ft ²	21	13	8	8	6	5
θ 90	lb/100ft ²	20	12	7	7	5	4
θ 60	lb/100ft ²	19	11	6	5	4	4
θ 30	lb/100ft ²	17	10	5	4	4	3
θ 6	lb/100ft ²	13	8	4	3	3	2
θ 3	lb/100ft ²	10	8	2	2	2	2
Esfuerzo de Gel (10 s)	lb/100ft ²	24	14	23	37	44	52
Viscosidad Plástica (VP)	cp	6	7	6	5	4	2
Viscosidad Aparente (VA)	cp	18.5	13	9.5	8.5	7.5	6
Punto Cedente (PC)	cp	25	12	7	7	7	6
Análisis de torta							
Espesor	in	1/32	1/32				
Película	*****			X	X	X	X
Plástica	*****			X	X	X	X
Quebradiza	*****	X	X				
Consistente	*****	X	X	X	X	X	X
Inconsistente	*****						
Pruebas Químicas							
Alcalinidad							
Pf	*****	0	0	0	0	0	0
Mf	*****	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Salinidad							
Concentración de AgNO ₃	ppm	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Cl ⁻	ppm	150	150	150	200	250	300
NaCl	ppm	247.5	247.5	247.5	330	412.5	495
Dureza							
Ca ⁺⁺	ppm	140	20	20	20	20	20

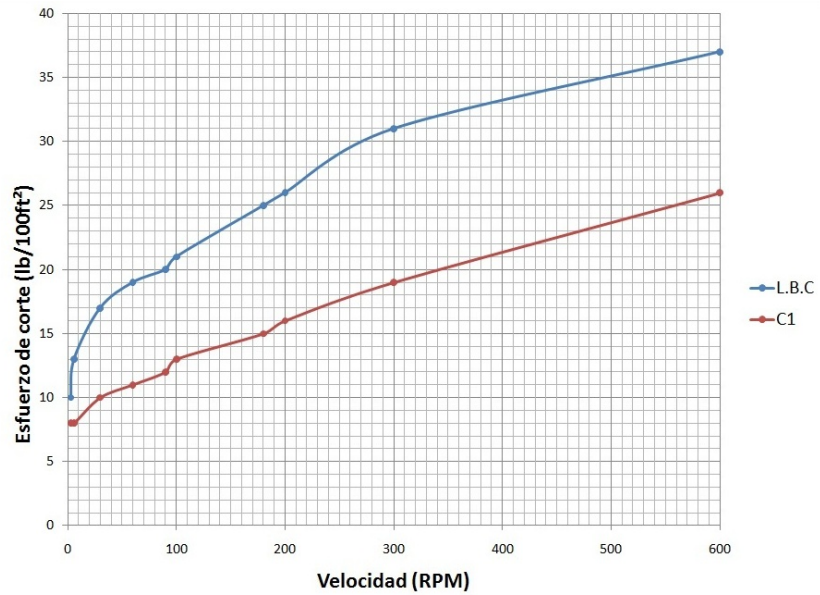
Fuente: Los Autores

Figura 4.71. Fase 12. Filtrado API



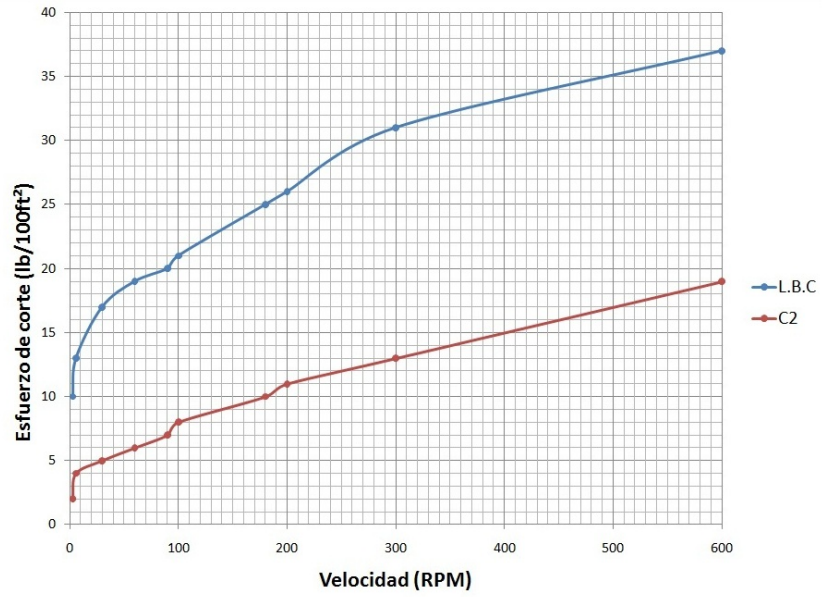
Fuente: Los Autores

Figura 4.72. Fase 12. Comparación Comportamiento reológico a C1



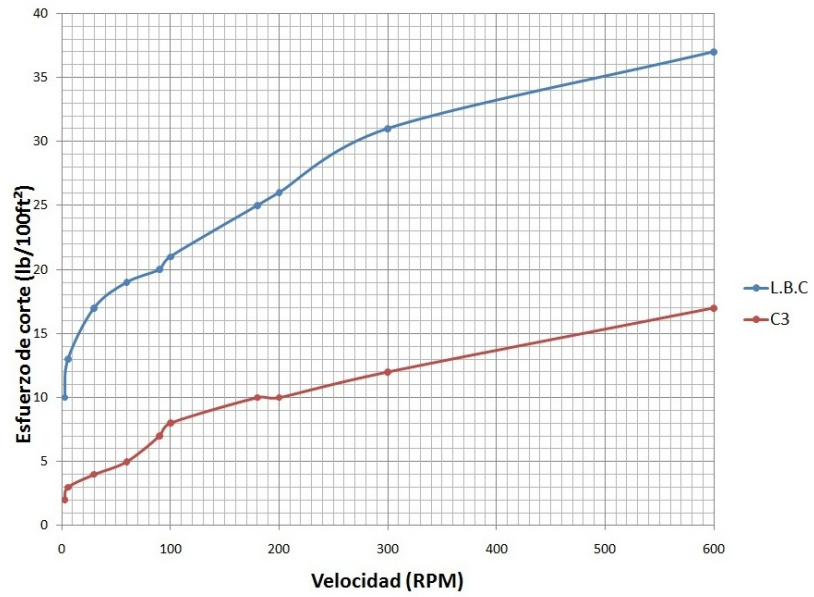
Fuente: Los Autores.

Figura 4.73. Fase 12. Comparación Comportamiento reológico a C2



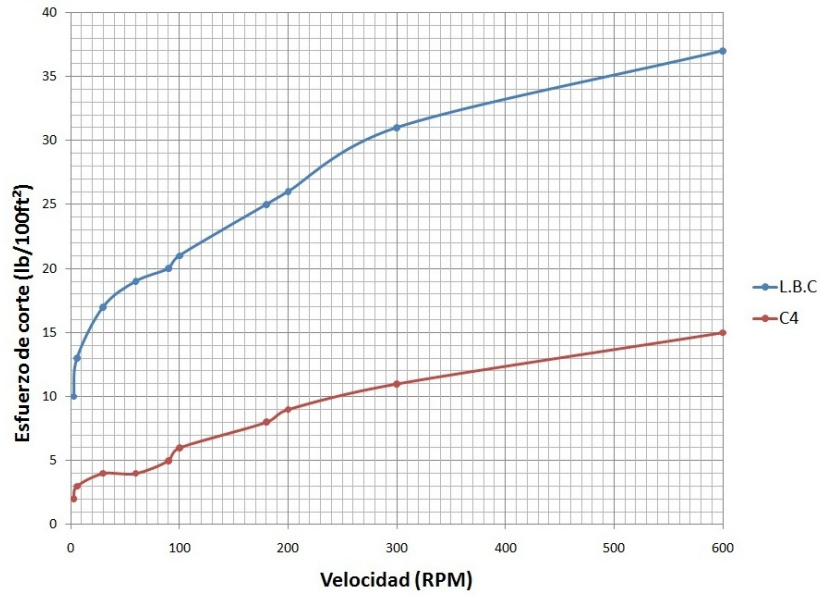
Fuente: Los Autores.

Figura 4.74. Fase 12. Comparación Comportamiento reológico a C3



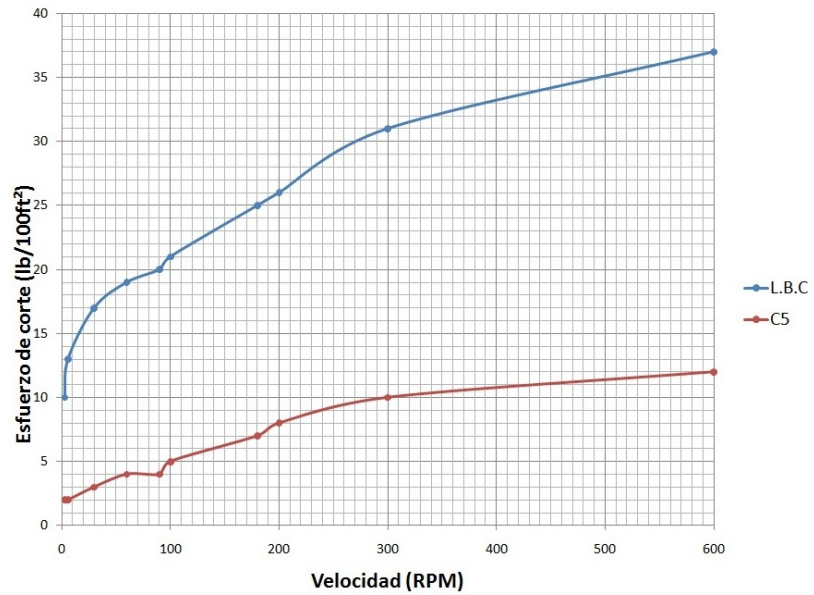
Fuente: Los Autores.

Figura 4.75. Fase 12. Comparación Comportamiento reológico a C4



Fuente: Los Autores.

Figura 4.76. Fase 12. Comparación Comportamiento reológico a C5



Fuente: Los Autores.

Comentarios

Tabla 4.47: En esta tabla se establece una comparación entre el lodo base contaminado con yeso y 5 lodos contaminados con yeso y tratados con R.P.R.T a diferentes concentraciones. La densidad permanece constante para los 6 lodos, por tanto, la resina de plátano no afecta este parámetro. En cuanto el pH, se observa un incremento de esta medida conforme aumenta la concentración de la resina, el valor de este en todos los lodos se encuentra en el rango óptimo de trabajo (7.5 -11.5),. Ninguno de los seis lodos presenta un revoque de características óptimas. De las pruebas químicas se observa un comportamiento en la salinidad, constante para los lodos base contaminado con yeso y los lodos con concentraciones C1 y C2 (247.5 ppm de $NaCl$), para los lodos con concentraciones C3, C4 y C5 se registran un aumento de 330, 412.5 y 495 ppm de $NaCl$; es posible que este comportamiento sea debido a una reacción química presente entre la bentonita y la resina de plátano. En cuanto a la dureza, se observa una disminución en relación 7:1 respecto al lodo base contaminado de los iones Ca^{++} , constante para los 5 lodos tratados con R.P.R.T y contaminados con yeso, por lo que se deduce un evidente comportamiento de la resina de plátano actúa como agente secuestrante de iones Ca^{++} .

Figura 4.71: El volumen del filtrado API disminuye conforme aumenta la concentración usada para los 5 lodos tratados con R.P.R.T y contaminados con yeso, este proceso es eficiente, con respecto al lodo base contaminado con yeso, esta disminución registrada de volumen para los lodos tratados con R.P.R.T corresponde al 18 % con C1, 26 % con C2, 26 % con C2, 33 % con C3, 41 % con C4 y 48 % para el lodo con C5.

Figuras 4.72, 4.73, 4.74, 4.75 y 4.76: El comportamiento reológico de los lodos contaminados con yeso y tratados con R.P.R.T es similar al comportamiento del lodo base contaminado con yeso, como se mostro en la Figura 4.65 el lodo con concentración C4, disminuye el volumen de filtrado del lodo base contaminado con cal en un 41 %, es por esta razón, pese a que las reología del lodo con las primeras concentraciones es la más cercana a este tipo de lodo base, se tomará para la evaluación, el lodo con concentración C4, teniendo en cuenta que la reología por no poseer valores muy altos puede ser controlada y que el volumen de filtrado es el parámetro principal para la evaluación de este proyecto.

4.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para esta fase se compararan los resultados obtenidos por la resina de plátano, con las concentraciones que se determinaron como optimas en la sección anterior, y controladores de filtrado comercial. Este análisis se dividirá en cuatro secciones:

- Análisis para el L.B.
- Análisis para el L.B contaminado con sal.
- Análisis para el L.B contaminado con cal.
- Análisis para el L.B contaminado con yeso.

Esto se hace con el fin de poder determinar en cuales situaciones la resina de plátano y la resina de plátano reducida funciona mejor como controlador de filtrado.

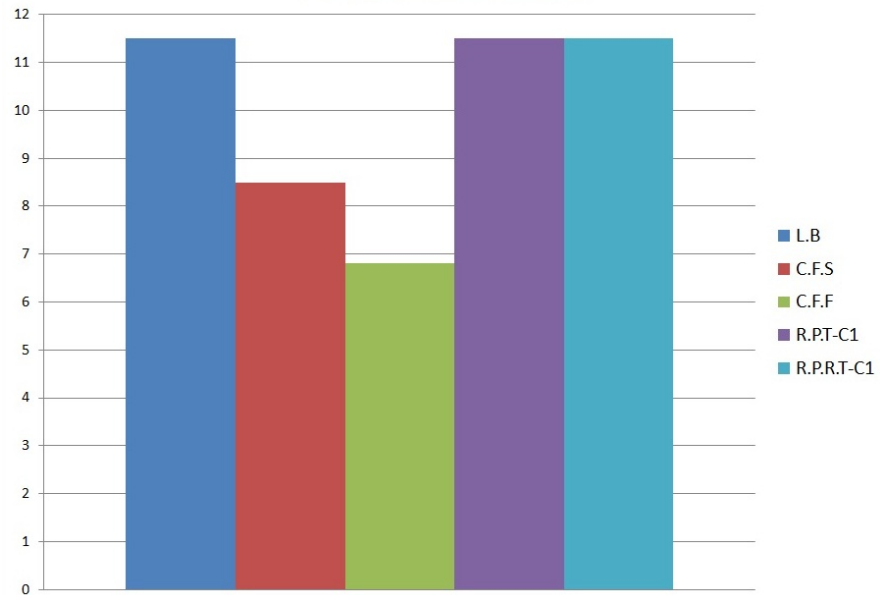
4.5.1. Análisis para el L.B.

Tabla 4.48. Caracterización de los tratamientos del L.B

parámetro	Unidades	L.B	C.F.S	C.F.F	R.P.T C1	R.P.R.T C1
Volumen de Filtrado API	mL	11.5	8.5	6.8	11.5	11.5
Densidad	lb/gal	8.8	8.8	8.6	8.8	8.8
pH	*****	11.37	10.63	7.99	9.70	9.63
Reología						
θ 600	lb/100 ft ²	30	83	125	30	37
θ 300	lb/100 ft ²	25	54	88	25	26
θ 200	lb/100 ft ²	20	43	74	21	22
θ 180	lb/100 ft ²	18	40	71	20	21
θ 100	lb/100 ft ²	12	29	56	16	17
θ 90	lb/100 ft ²	11	27	54	15	16
θ 60	lb/100 ft ²	9	21	47	13	15
θ 30	lb/100 ft ²	6	15	38	10	13
θ 6	lb/100 ft ²	4	7	27	7	12
θ 3	lb/100 ft ²	3	6	25	5	11
Esfuerzo de Gel (10 s)	lb/100 ft ²	5	7	38	10	10
Viscosidad Plástica (VP)	cp	5	29	37	5	11
Viscosidad Aparente (VA)	cp	15	41,5	62,5	15	18,5
Punto Cedente (PC)	cp	20	25	51	20	15
Análisis de torta						
Espesor	in	1/32	1/32		1/32	1/32
Película	*****			X		
Plástica	*****			X		
Quebradiza	*****	X	X		X	X
Consistente	*****	X			X	X
Inconsistente	*****		X	X		
Pruebas Químicas						
Alcalinidad						
Pf	*****	0.05	0.05	0	0	0
Mf	*****	0.1	0.05	0.05	0.05	0.05
Salinidad						
Concentración de AgNO3	ppm	1000	1000	1000	1000	1000
Cl ⁻	ppm	150	200	200	200	250
NaCl	ppm	247.5	330	330	330	412.5
Dureza						
Ca ⁺⁺	ppm	100	120	120	80	80

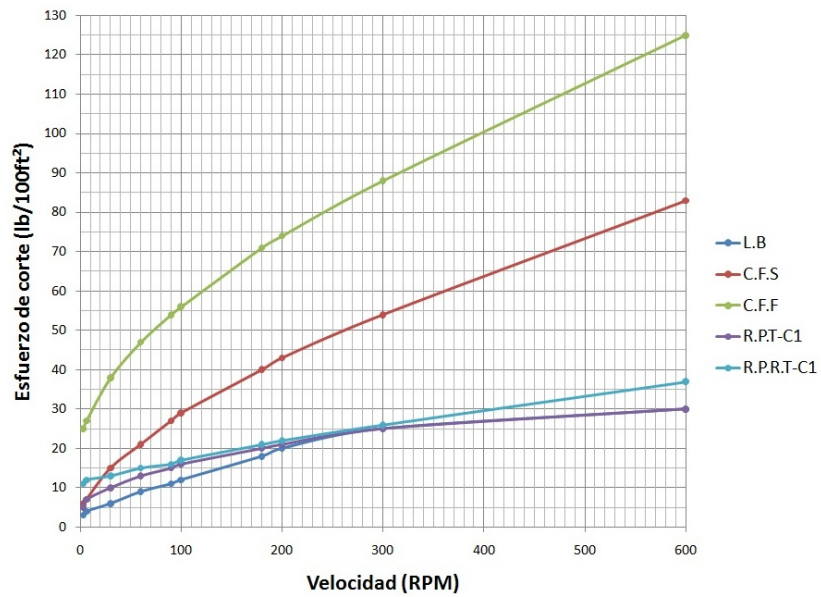
Fuente: Los Autores

Figura 4.77. Filtrado API del L.B bajo tratamientos.



Fuente: Los Autores

Figura 4.78. Comportamiento reológico del L.B bajo tratamientos



Fuente: Los Autores

Comentarios

Tabla 4.48: En esta tabla se establece una comparación del lodo base sin tratamiento y su comportamiento frente a los controladores de filtrado comerciales y los dos tipos de resina seleccionados en este proyecto, con el fin de determinar las características óptimas del uso de la resina de plátano en comparación con controladores de filtrado comerciales. La densidad permanece constante para los 5 lodos, por tanto, la resina de plátano no afecta este parámetro. En cuanto el pH, el valor de este para todos los lodos se encuentra en el rango óptimo de trabajo (7.5 - 11.5). Ninguno de los seis lodos presenta un revoque de características óptimas. De las pruebas químicas se observa un aumento de salinidad para los lodos tratados respecto al lodo base, para la resina de plátano (R.P.T) se observa que el comportamiento de esta propiedad es equivalente al comportamiento registrado por los lodos con controladores de filtrado comerciales. En cuanto a la dureza, en comparación con el lodo base se observa un aumento de los iones Ca^{++} para los lodos tratados con C.F.S y C.F.F y una disminución de los mismos para los lodos tratados resina, por tanto, se evidencia un comportamiento optimizado de esta propiedad para los lodos tratados con resina en comparación con los lodos tratados con controladores de filtrado comerciales, la resina de plátano tiene un comportamiento como agente secuestrante de iones Ca^{++} .

Figura 4.77: Para los lodos con controladores de filtrado comerciales respecto al lodo base el comportamiento es el esperado, para el lodo con C.F.S el volumen de filtrado se reduce al 26 %, mientras que para el C.F.F esta disminución es de 41 %. Sin embargo, para los lodos tratados con resina, R.P.T y R.P.R.T, el control de pérdida de filtrado representa un proceso nulo, el volumen de filtrado registrado es equivalente al del lodo base (11.5 mL), por tanto, la resina de plátano para un

lodo sin contaminantes no muestra un comportamiento satisfactorio como agente controlador de filtrado.

Figura 4.78: Referente al lodo base, el comportamiento reológico de los lodos con controladores de filtrado comerciales aumenta, en mayor medida para el C.F.F, el valor del esfuerzo de corte para la lectura de 600 RPM (83 y 25 *cp.*) esta por encima de las condiciones optimas de trabajo encontradas en la practica para un lodo de perforación (45-50 *lb/100ft²*), sin embargo, es controlable mediante la adición de otros aditivos. Para los lodos tratados con resina, R.P.T y R.P.R.T, el comportamiento reológico es similar al del lodo base. La Viscosidad aparente para el lodo R.P.T corresponde al mismo valor del registrado por el lodo base (15 *cp*), el cual, es un buen punto de partida, teniendo en cuenta que es a este valor es el determinante para el rendimiento de cualquier tipo de arcilla. El valor de la Viscosidad aparente del lodo R.P.R.T (18.5 *cp*) es muy cercano a este punto.

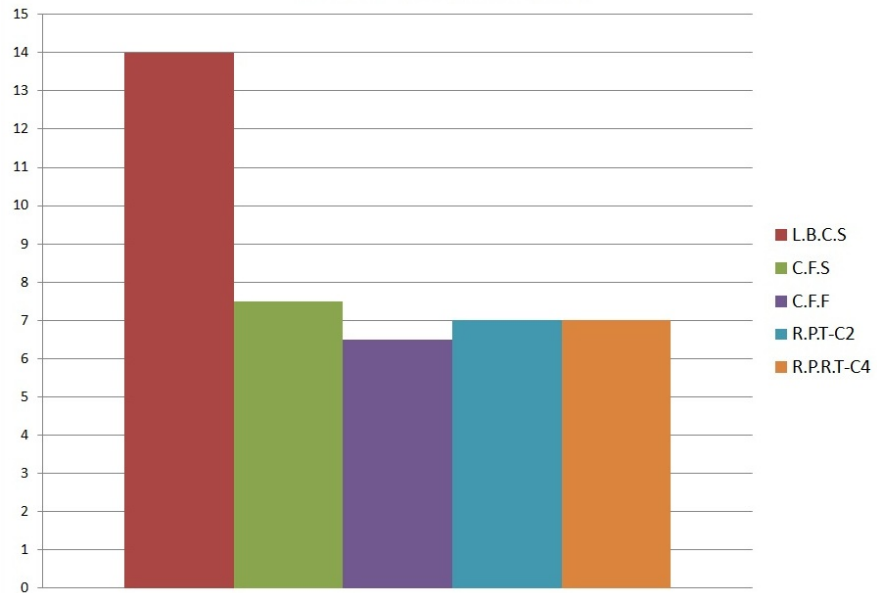
4.5.2. Análisis para el L.B contaminado con sal.

Tabla 4.49. Caracterización de los tratamientos del L.B contaminado con sal.

Sal a 1.5 (lb/BB)						
parámetro	Unidades	L.B.C	C.F.S	C.F.F	R.P.T C2	R.P.R.T C4
Volumen de Filtrado API	mL	14	7.5	6.5	7	7
Densidad	lb/gal	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8
pH	*****	8.54	8.01	7.97	8.19	8.19
Reología						
θ 600	lb/100ft ²	86	109	172	70	42
θ 300	lb/100ft ²	81	86	148	63	35
θ 200	lb/100ft ²	75	77	136	60	32
θ 180	lb/100ft ²	72	75	134	59	31
θ 100	lb/100ft ²	67	68	125	55	29
θ 90	lb/100ft ²	66	67	124	54	28
θ 60	lb/100ft ²	64	65	120	53	27
θ 30	lb/100ft ²	58	59	110	51	26
θ 6	lb/100ft ²	47	49	95	44	23
θ 3	lb/100ft ²	45	47	78	43	21
Esfuerzo de Gel (10 s)	lb/100ft ²	49	69	78	12	40
Viscosidad Plástica (VP)	cp	5	23	24	7	7
Viscosidad Aparente (VA)	cp	43	54.5	86	35	21
Punto Cedente (PC)	cp	76	63	124	56	28
Análisis de torta						
Espesor	in	1/32			1/32	1/32
Película	*****		X	X		
Plástica	*****			X		X
Quebradiza	*****	X	X		X	
Consistente	*****			X	X	X
Inconsistente	*****	X	X			
Pruebas Químicas						
Alcalinidad						
Pf	*****	0	0	0	0	0
Mf	*****	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Salinidad						
Concentración de AgNO3	ppm	10000	10000	10000	10000	10000
Cl ⁻	ppm	2500	3000	3000	3000	4500
NaCl	ppm	4125	4950	4950	4950	7425
Dureza						
Ca ⁺⁺	ppm	100	120	120	80	80

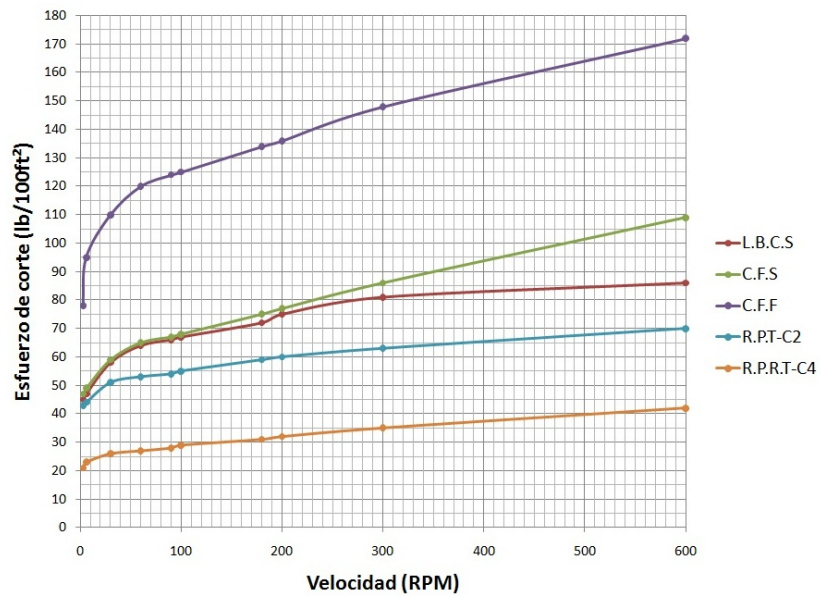
Fuente: Los Autores

Figura 4.79. Filtrado API del L.B contaminado con sal bajo tratamientos.



Fuente: Los Autores

Figura 4.80. Comportamiento reológico del L.B contaminado con sal bajo tratamientos



Fuente: Los Autores

Comentarios

Tabla 4.49: En esta tabla se establece una comparación del lodo base contaminado con sal y su comportamiento frente a los controladores de filtrado comerciales y los dos tipos de resina seleccionados en este proyecto, con el fin de determinar las características óptimas del uso de la resina de plátano en comparación con controladores de filtrado comerciales. La densidad permanece constante para los 5 lodos, por tanto, la resina de plátano no afecta este parámetro. En cuanto el pH, el valor de este para todos los lodos se encuentra en el rango óptimo de trabajo (7.5 -11.5). El lodo con concentración de resina C4 presenta un revoque de características óptimas. De las pruebas químicas se observa un leve aumento de salinidad para los lodos tratados respecto al lodo contaminado con sal, para la resina de plátano (R.P.R.T) se observa que el comportamiento de esta propiedad es equivalente al comportamiento registrado por los lodos con controladores de filtrado comerciales. En cuanto a la dureza, en comparación con el lodo base se observa un aumento de los iones $lb/100ft^2$ para los lodos tratados con C.F.S y C.F.F y una disminución de los mismos para los lodos tratados resina, por tanto, se evidencia un comportamiento optimizado de esta propiedad para los lodos tratados con resina en comparación con los lodos tratados con controladores de filtrado comerciales, la resina de plátano tiene un comportamiento como agente secuestrante de iones $lb/100ft^2$.

Figura 4.79 Para los lodos con controladores de filtrado comerciales respecto al lodo base el comportamiento es el esperado, para el lodo con C.F.S el volumen de filtrado se reduce al 46 %, mientras que para el C.F.F esta disminución es de 54 %. Para los lodos tratados con resina R.P.T y R.P.R.T, el parámetro de volumen de filtrado tiene comportamiento similar al presentado por los lodos con controladores

de filtrado comerciales, estos lodos presentan una reducción de volumen respecto al lodo base del 50 %.

Figura 4.80 Referente al lodo base contaminado con sal, el comportamiento reológico de los lodos con controladores de filtrado comerciales aumenta, en mayor medida para el C.F.F, el valor del esfuerzo de corte para la lectura de 600 RPM (109 y 25 *cp*) esta por encima de las condiciones optimas de trabajo encontradas en la practica para un lodo de perforación ($45-50 \text{ lb}/100\text{ft}^2$), sin embargo, es controlable mediante la adición de otros aditivos. Para los lodos tratados con resina, R.P.T y R.P.R.T, el comportamiento reológico disminuye respecto al lodo base, por lo que se deduce que la resina de plátano se comporta como agente dispersante para lodos salados base agua.

4.5.3. Análisis para el L.B contaminado con cal.

Tabla 4.50. Caracterización de los tratamientos del L.B contaminado con cal.

Cal a 0.1 (lb/BB)						
parámetro	Unidades	L.B.C	C.F.S	C.F.F	R.P.T C2	R.P.R.T C2
Volumen de Filtrado API	mL	13	8	6	7	8
Densidad	lb/gal	8.8	8.8	8.6	8.8	8.8
pH	****	12.02	9.94	10.02	11.95	11.67
Reología						
θ 600	lb/100ft ²	35	71	161	29	22
θ 300	lb/100ft ²	30	49	123	27	17
θ 200	lb/100ft ²	24	40	109	21	13
θ 180	lb/100ft ²	22	38	106	18	12
θ 100	lb/100ft ²	17	30	89	14	8
θ 90	lb/100ft ²	16	29	87	13	7
θ 60	lb/100ft ²	14	25	79	10	6
θ 30	lb/100ft ²	11	20	69	9	5
θ 6	lb/100ft ²	7	12	56	5	4
θ 3	lb/100ft ²	6	11	53	4	3
Esfuerzo de Gel (10 s)	lb/100ft ²	15	20	63	35	15
Viscosidad Plástica (VP)	cp	5	22	38	2	5
Viscosidad Aparente (VA)	cp	17.5	35.5	80.5	14.5	11
Punto Cedente (PC)	cp	25	27	85	25	12
Análisis de torta						
Espesor	in	1/32		1/32	1/32	1/32
Película	****		X			
Plástica	****		X	X	X	X
Quebradiza	****	X				
Consistente	****	X	X	X	X	X
Inconsistente	****					
Pruebas Químicas						
Alcalinidad						
Pf	****	0.1	0	0	0.05	0.05
Mf	****	0.2	0.1	0.1	0.15	0.15
Salinidad						
Concentración de AgNO3	ppm	1000	1000	1000	1000	1000
Cl ⁻	ppm	200	250	250	250	150
NaCl	ppm	330	412.5	412.5	412.5	247.5
Dureza						
Ca ⁺⁺	ppm	180	200	200	120	40

Fuente: Los Autores

Figura 4.81. Filtrado API del L.B contaminado con cal bajo tratamientos.

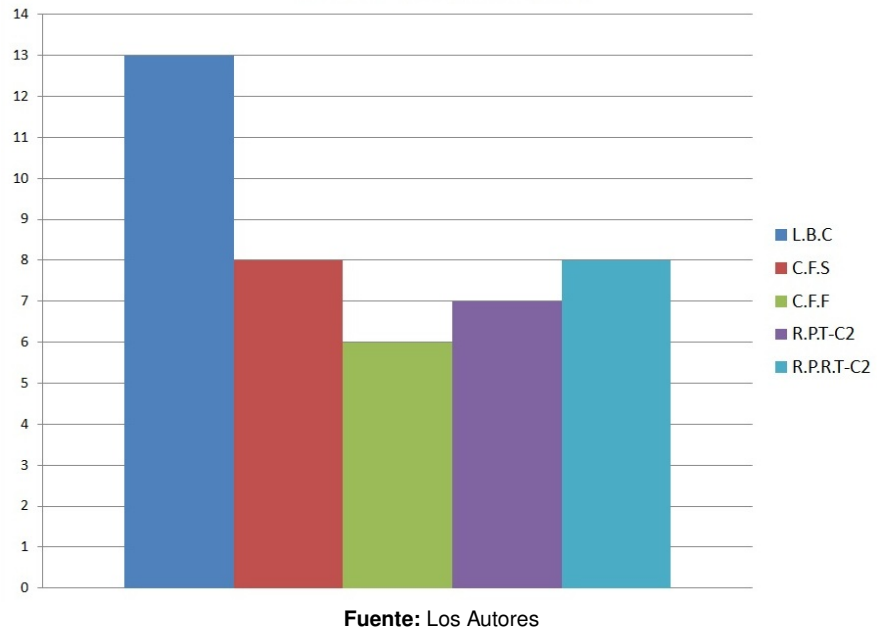
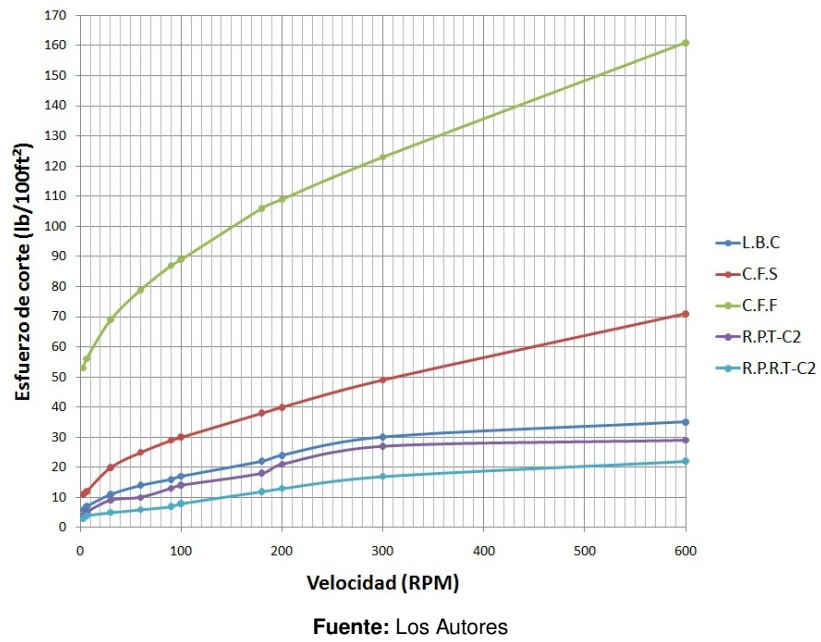


Figura 4.82. Comportamiento reológico del L.B contaminado con cal bajo tratamientos



Comentarios

Tabla 4.50 En esta tabla se establece una comparación del lodo contaminado con cal y su comportamiento frente a los controladores de filtrado comerciales y los dos tipos de resina seleccionados en este proyecto, con el fin de determinar las características óptimas del uso de la resina de plátano en comparación con controladores de filtrado comerciales. La densidad permanece constante para los 5 lodos, por tanto, la resina de plátano no afecta este parámetro. En cuanto el pH, se observa que los controladores de filtrado comerciales disminuyen el pH respecto al lodo base, manteniendo este valor dentro del rango óptimo de trabajo (7.5 -11.5), el pH de los lodos tratados con resina presenta un comportamiento similar, aunque el valor registrado es de 11.95 para el lodo R.P.T y de 11.67 para el lodo R.P.R.T, esta por encima del rango, el incremento es leve respecto a este y sería un parámetro de fácil control. De los lodos con controladores de filtrado comerciales solo el lodo con C.F.F presenta un revoque de características óptimas, para los lodos R.P.T y R.P.R.T este revoque presenta un comportamiento ideal. De las pruebas químicas se observa un aumento de salinidad para los lodos tratados respecto al lodo base, para la resina de plátano (R.P.T) se observa que el comportamiento de esta propiedad es equivalente al comportamiento registrado por los lodos con controladores de filtrado comerciales, para el lodo R.P.R.T se observa una disminución de este parámetro en referencia al lodo base, este comportamiento se debe probablemente a la concentración de la resina y al bajo pH de esta. En cuanto a la dureza, en comparación con el lodo base se observa un aumento de los iones Ca^{++} para los lodos tratados con C.F.S y C.F.F y una disminución de los mismos para los lodos tratados resina, por tanto, se evidencia un comportamiento optimizado de esta propiedad para los lodos tratados con resina en comparación con los lodos tratados con controladores de filtrado comerciales, la resina de plátano tiene un comportamiento como agente secuestrante de iones Ca^{++} .

Figura 4.81 Para los lodos con controladores de filtrado comerciales respecto al lodo base el comportamiento es el esperado, para el lodo con C.F.S el volumen de filtrado se reduce al 38 %, mientras que para el C.F.F esta disminución es de 54 %. Para los lodos tratados con resina R.P.T y R.P.R.T, el parámetro de volumen de filtrado tiene comportamiento similar al presentado por los lodos con controladores de filtrado comerciales, estos lodos presentan una reducción de volumen respecto al lodo base del 46 y 38 % respectivamente.

Figura 4.82 Referente al lodo base contaminado con cal, el comportamiento reológico de los lodos con controladores de filtrado comerciales aumenta, en mayor medida para el C.F.F, el valor del esfuerzo de corte para la lectura de 600 RPM (71 y 161 *cp*) esta por encima de las condiciones optimas de trabajo encontradas en la practica para un lodo de perforación (45-50 *lb/100ft²*), para el lodo C.F.F este valor es muy alto, la velocidad de corte alta, causaría que los esfuerzos de corte en la columna de perforación excedieran los esfuerzos de corte en el espacio anular, provocando perdidas de presión a través del sistema de circulación. Para los lodos con tratados con resina, R.P.T y R.P.R.T, el comportamiento reológico es similar al del lodo base. La Viscosidad aparente para los lodos R.P.T y R.P.R.T tiene valores cercanos a 15 *cp*, el cual, es un buen punto de partida, teniendo en cuenta que es a este valor es el determinante para el rendimiento de cualquier tipo de arcilla.

4.5.4. Análisis para el L.B contaminado con yeso.

Tabla 4.51. Caracterización de los tratamientos del L.B contaminado con yeso.

Yeso a 0,25 (lb/BB)						
parámetro	Unidades	L.B.C	C.F.S	C.F.F	R.P.T C2	R.P.R.T C3
Volumen de Filtrado API	mL	13.5	9	8	9	9
Densidad	lb/gal	8.8	8.7	8.6	8.8	8.8
pH	****	8.16	8.07	8.02	10.56	9.87
Reología						
θ 600	lb/100 ft ²	37	63	138	23	17
θ 300	lb/100 ft ²	31	45	102	20	12
θ 200	lb/100 ft ²	26	36	91	18	10
θ 180	lb/100 ft ²	25	34	89	17	10
θ 100	lb/100 ft ²	21	26	76	15	8
θ 90	lb/100 ft ²	20	25	74	15	7
θ 60	lb/100 ft ²	19	22	67	14	5
θ 30	lb/100 ft ²	17	18	58	12	4
θ 6	lb/100 ft ²	13	14	43	11	3
θ 3	lb/100 ft ²	10	11	39	10	2
Esfuerzo de Gel (10 s)	lb/100 ft ²	24	20	50	24	37
Viscosidad Plástica (VP)	cp	6	18	36	3	5
Viscosidad Aparente (VA)	cp	18.5	31.5	69	11.5	8.5
Punto Cedente (PC)	cp	25	27	66	17	7
Análisis de torta						
Espesor	in	1/32		1/32	1/32	1/32
Película	****		X			
Plástica	****				X	X
Quebradiza	****	X	X	X		
Consistente	****	X	X	X	X	X
Inconsistente	****					
Pruebas Químicas						
Alcalinidad						
Pf	****	0	0	0	0	0
Mf	****	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Salinidad						
Concentración de AgNO ₃	ppm	1000	1000	1000	1000	1000
Cl ⁻	ppm	150	300	300	150	200
NaCl	ppm	247.5	495	495	247.5	330
Dureza						
Ca ⁺⁺	ppm	140	140	120	20	20

Fuente: Los Autores

Figura 4.83. Filtrado API del L.B contaminado con yeso bajo tratamientos.

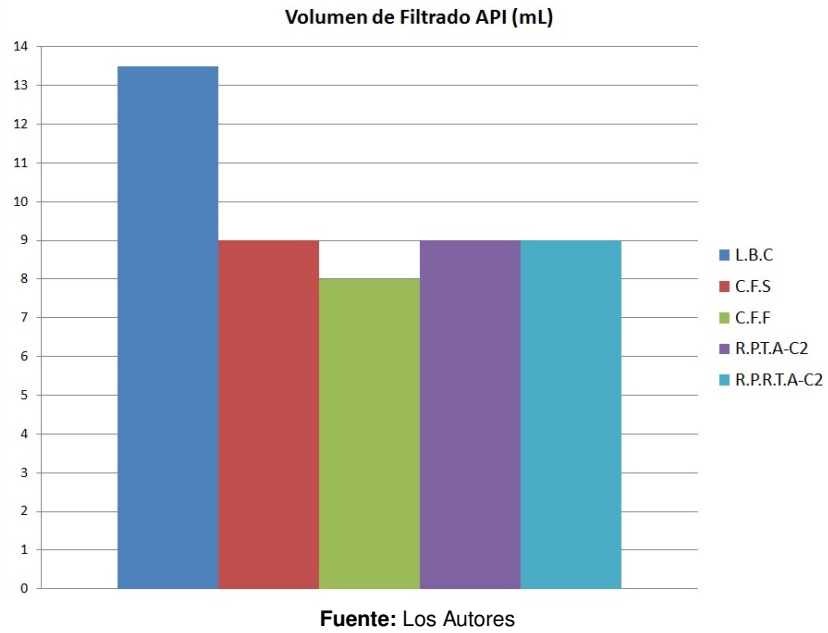
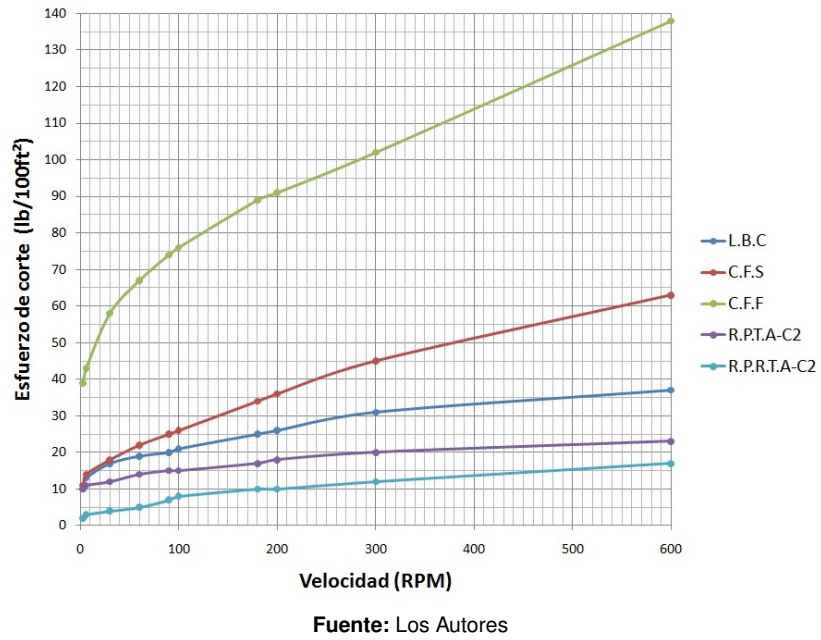


Figura 4.84. Comportamiento reológico del L.B contaminado con yeso bajo tratamientos



Comentarios

Tabla 4.51 En esta tabla se establece una comparación del lodo base contaminado con yeso y su comportamiento frente a los controladores de filtrado comerciales y los dos tipos de resina seleccionados en este proyecto, con el fin de determinar las características óptimas del uso de la resina de plátano en comparación con controladores de filtrado comerciales. La densidad tiene valores similares para los 5 lodos, por tanto, la resina de plátano no afecta este parámetro. En cuanto al pH, el valor de este para todos los lodos se encuentra en el rango óptimo de trabajo (7.5 -11.5). De los lodos con controladores de filtrado comerciales solo el lodo con C.F.F presenta un revoque de características óptimas, para los lodos R.P.T y R.P.R.T este revoque presenta un comportamiento ideal. De las pruebas químicas se observa un aumento de salinidad para los lodos tratados con controladores de filtrado comerciales respecto al lodo base contaminado con yeso, para los lodos R.P.T y R.P.R.T disminuye este parámetro, este comportamiento se debe probablemente a la concentración de la resina y al bajo pH de esta. En cuanto a la dureza, en comparación con el lodo base contaminado con yeso se observa un aumento de los iones Ca^{++} para el lodo tratado con C.F.S, una disminución leve para el lodo con C.F.F y una disminución en relación de 7:1 con respecto a los lodos tratados con resina, por tanto, se evidencia un comportamiento optimizado de esta propiedad para los lodos tratados con resina en comparación con los lodos tratados con controladores de filtrado comerciales, la resina de plátano tiene un comportamiento como agente secuestrante de iones Ca^{++}

Figura 4.83 Para los lodos con controladores de filtrado comerciales respecto al lodo base contaminado con yeso el comportamiento es el esperado, para el lodo con C.F.S el volumen de filtrado se reduce al 33 %, mientras que para el C.F.F esta disminución es de 41 %. Para los lodos tratados con resina R.P.T y R.P.R.T,

el parámetro de volumen de filtrado tiene comportamiento similar al presentado por los lodos con controladores de filtrado comerciales, estos lodos presentan una reducción de volumen respecto al lodo base del 33 %.

Figura 4.84 Referente al lodo base contaminado con yeso, el comportamiento reológico de los lodos con controladores de filtrado comerciales aumenta, en mayor medida para el C.F.F, el valor del esfuerzo de corte para la lectura de 600 RPM (83 y 138 *cp*) esta por encima de las condiciones optimas de trabajo encontradas en la practica para un lodo de perforación (45-50 *lb/100.ft²*), para el lodo C.F.F este valor es muy alto, la velocidad de corte alta, causaría que los esfuerzos de corte en la columna de perforación excedieran los esfuerzos de corte en el espacio anular, provocando perdidas de presión a través del sistema de circulación. Para los lodos con tratados con resina, R.P.T y R.P.R.T, el comportamiento reológico es similar al del lodo base contaminado con yeso. La Viscosidad aparente del lodo R.P.T tiene un valor cercano a 15 *cp*, el cual, es un buen punto de partida, teniendo en cuenta que es a este valor es el determinante para el rendimiento de cualquier tipo de arcilla.

5. ANÁLISIS FINANCIERO

Como todo proyecto de ingeniería es necesario determinar bajo que condiciones es rentable el proyecto a realizar. Para este caso, el análisis financiero se hizo bajo las siguientes condiciones:

- La empresa es construida en zonas donde el cultivo predominante es el plátano, y el despacho del producto final se hace desde la ciudad de Bogotá.
- La inversión inicial de la empresa es por parte de los cultivadores de plátano.
- La materia prima, los vástagos de la mata de plátano, son puestos por los cultivadores en las puertas de la fábrica.
- En la fábrica laboran tres obreros y personal administrativo.
- Se asume que la inflación anual es constante al 4%.
- La expectativa del crecimiento de la producción es del 6%.
- La producción se realiza durante doce horas diarias, seis días a la semana, doce meses al año.
- Se asume que las ventas son aseguradas a largo plazo, y el suministro de materia prima es garantizado.
- El producto final es despachado, con previo tratamiento con bactericida B1.
- Se asume que el producto es utilizado en un periodo inferior a cinco días, a partir del día de su producción.
- Se asume que la tasa de cambio del dólar es de \$2000/US\$.

- El cliente asume el costo de transporte del producto.

Tabla 5.1. Relación de costos para la inversión inicial.

Valor lote de 250 m^2	175000000
Valor construcción bodega	360000000
Adecuación eléctrica	32000000
Tanque de almacenamiento de 150BB	34000000
Costo maquina extrusora de 25hp	63500000
Total inversión inicial	664500000

Fuente: Los Autores

Tabla 5.2. Especificaciones de la operación mensual

Numero de obreros	3
Costo obrero	1071200
Costo personal administrativo	5356000
Consumo de energia kwh	37076,2
Valor kwh	142

Fuente: Los Autores

Tabla 5.3. Procesamiento de la resina de plátano

Resina procesada por hora (L)	250 L
Producción diaria (L)	3000
Producción mensual (L)	75000
Producción Anual (L)	900000
Toneladas de resina por año	441

Fuente: Los Autores

Basándose en las tablas 5.2; 5.3 y 5.4; se calcula el valor de la operación de extracción de la resina de plátano al año.

Tabla 5.4. Costo anual de operación

Valor mano de obra	38563200
Valor administración	54272000
Valor mantenimiento	7000000
Valor operación maquinaria	11122860
Valor B1	8320000
Valor total	129278060

Fuente: Los Autores**Tabla 5.5.** Flujo neto de caja

Año	Salidas (\$)	Producción anual (Ton)	Costo de producción (\$/Ton)	Precio de venta (\$/Ton)	Entradas (\$)
1	129278060	441	293148	527666	232700508
2	139827149	496	282190	507941	251688869
3	151237045	557	271642	488955	272226681
4	163577987	626	261488	470678	294440378
5	176925951	703	251713	453084	318466713
6	191363109	790	242304	436148	344453597
7	206978339	887	233247	419844	372561010
8	223867771	997	224528	404151	402961989
9	242135381	1120	216135	389044	435843687
10	261893629	1259	208056	374501	471408532
11	283264149	1414	200279	360502	509875468
12	306378503	1589	192793	347027	551481306
TIR					18.43%

Fuente: Los Autores**Tabla 5.6.** Comparación de costos de tratamientos

Costo de una tonelada de C.F (\$)	6400000
Barriles tratados a 0.5lb/BB	4000
[R.P] (lb/BB)	4
Toneladas de R.P para tratar 4000 BB	8
Costo de 8Ton de R.P (\$)	4221324

Fuente: Los Autores

6. CONCLUSIONES

- Se comprueba que la resina de plátano, con un rango de concentración entre 4 a 6 lb/BB actúa como agente controlador de filtrado para lodos base agua en presencia de contaminantes .
- La resina de plátano, como aditivo en lodos base agua, no altera la densidad del lodo tratado.
- En la mayoría de las fases experimentales estudiadas, se pudo observar que la resina de plátano como aditivo, disminuye el pH llevando el lodo de perforación a condiciones ideales de trabajo.
- La R.P.T actúa como agente dispersante en lodos base agua siempre y cuando en lodo se encuentren presentes iones Cl^- y Ca^{++}
- A diferencia de lo observado con los aditivos de uso comercial, la resina de plátano mejora las características que debe poseer el revoque.
- Sin importar los componentes del lodo, la resina de plátano actúa como un secuestrador de iones Ca^{++} , resaltando en gran medida en lodos contaminados por yeso.
- La resina de plátano sin tratamiento químico posee un alto grado de degradación; el tiempo de vida útil es menor a 24 horas. Para la resina tratada químicamente su tiempo de vida útil se extiende hasta 5 días.
- En las pruebas de compatibilidad se pudo observar que hay afinidad entre los aditivos seleccionados y la resina de plátano. Esta afinidad se da solamente en los primeros días, aproximadamente a partir del tercer día se observa una separación de fases de la mezcla y un aumento de la degradación de esta.

- La extracción de la resina de plátano, es rentable a largo plazo, con el inconveniente que su comercialización y uso debe hacerse en un periodo menor o igual a cinco días, debido a su alta tasa de degradación.

7. RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio composicional de la resina de plátano.
- Hacer un estudio para determinar los componentes efectivos de la resina de plátano como aditivo para lodos de perforación base agua.
- Hacer un estudio para determinar la efectividad de la resina de plátano como agente dispersante.
- Realizar un estudio para determinar la efectividad de la resina de plátano como agente secuestrante de calcio bajo distintas condiciones de concentración en lodos contaminados base agua.
- Realizar una prueba HT-HP una vez se hayan determinado los componentes efectivos de la resina de plátano.
- Crear una metodología para extender el tiempo de vida útil de la resina de plátano.
- Determinar si es viable la utilidad de la resina de plátano como aditivo para lodos base aceite.

8. BIBLIOGRAFÍA

- BAROID A HALLIBURTON COMPANY. Manual de fluidos. Houston, USA, 2000.
- BLANK, Leland T. y TARQUIN, Anthony. Ingeniería económica. Traducido por Gladys Arango Medina. 4 Ed. Bogotá D.C.: McGraw-Hill, 1999.
- CARDENAS PARDO, Jhins Ledys y Chaustre Gallo, Greis NATALY. Estudio de la factibilidad del uso del mucílago de fique como dispersante biodegradable en lodos de perforación. Tesis de grado. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2009
- CENTRO INTERNACIONAL DE EDUCACIÓN Y DESARROLLO (CIED), ASOCIACIÓN CIVIL, FILIAL DE PETRÓLEOS DE VENEZUELA, S.A. Manual de fluidos de perforación. PDVSA. Primera versión, agosto, 2002.
- CORPORACIÓN COLOMBIANA DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA-CORPOICA. MARTÍNEZ GARNICA, Alfonso. El cultivo de plátano en los llanos orientales. Aspectos generales y principales labores del cultivo del plátano. Colombia, Meta, 1998.
- CORPORACIÓN COLOMBIANA DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA-CORPOICA. PALENCIA; Gildardo; GOMEZ, Raúl y MARTÍN, José. Manejo sostenible del cultivo de plátano. Colombia, Bucaramanga, 2006.
- CORPORACIÓN COLOMBIANA DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA-CORPOICA. OROZCO CORTÉS, María Rubí. El cultivo de plátano en la zona del Darién. Antioquia, Colombia, 2000.

- CORPORACIÓN COLOMBIANA INTERNACIONAL-CCI. SECRETARIA TÉCNICA. Acuerdo de competitividad de la cadena productiva del plátano en Colombia. Colombia, Bogotá, 2000.
- CORPORACIÓN COLOMBIANA INTERNACIONAL. Perfil de producto. Plátano .En; Inteligencia de mercados. Enero-Marzo, 2000, no. 7.
- FAJARDO MOLINA, Adrian y RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ, Carlos. Factibilidad del uso del almidón de plátano como aditivo para lodos de perforación. Tesis de grado. Colombia, Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2007.
- M-I & SWACO. Drilling Fluids Engineering Manual [Manual de Ingeniería de fluidos de perforación]. Versión 2.0. Houston, Texas, 2001.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL OBSERVATORIO AGROCADENAS COLOMBIA.ESPINAL, Carlos; MARTÍNEZ, Héctor y PEÑA, Yadira. La cadena del plátano en Colombia. Una mirada global de su estructura y dinámica. Colombia, Bogotá, 2005.
- RODRIGUEZ BERMUDEZ, Eliserio. Guía de laboratorio de lodos y cementos. Tesis de grado. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2007.
- RODRÍGUEZ MARTÍNEZ, J.L Y RODRÍGUEZ SAAVEDRA, A. Aspectos socioeconómicos del cultivo de plátano en Colombia. En: INFOMUSA, La revista internacional sobre Banano el plátano. Junio, 2001.Vol. 10, no 1, p. 4-9.