

**REDISEÑO DE LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN BASE AGUA EN
YACIMIENTO DE SHALE GAS APLICADO A UN CAMPO COLOMBIANO**

STEFANIA MARTINEZ TRIGOS

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BUCARAMANGA**

2013

**REDISEÑO DE LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN BASE AGUA EN
YACIMIENTO DE SHALE GAS APLICADO A UN CAMPO COLOMBIANO**

STEFANÍA MARTÍNEZ TRIGOS

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

Director:

Ing. OSCAR FERNANDO LOPEZ SILVA

Codirector:

Ing. JORGE MARÍN HURTADO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BUCARAMANGA**

2013

DEDICATORIA

A Dios por la vida que me dio, por la fortaleza que me regaló en este proceso cada vez que lo necesitaba y por guiarme por buen camino.

A mi Mamá y a mi Papá quienes son las personas que más amo en mi vida...Gracias, mil y mil Gracias, creo que nunca terminaré de agradecerles por la vida que me regalaron, por las enseñanzas que siempre quieren compartirme y sé que nunca terminarán, porque son los motores de mi vida por los cuales cada paso que doy, lo doy de la mejor manera para verlos sonreír, por todo esto les dedico completamente este trabajo el cual representa el comienzo de mi vida profesional.

A mi Nani y a Miltón por ser como mis segundos padres, porque siempre que los necesité contaba con su apoyo, sus palabras de aliento y su constante consejo de no alejarme de Dios.

A mis hermanos Carlos y Miguel Ángel porque siempre me apoyaron en cada paso que di y siempre estuvieron atentos a mis llamadas así estuviéramos lejos.

A mis sobrinas para las cuales espero ser siempre un buen ejemplo.

A mis abuelas Olga y Mercedes sencillamente gracias por sus amorosas palabras y oraciones.

A mis tías y tíos por su incondicional apoyo y sus palabras de alegría cada vez que les compartía una buena noticia.

A ti cariño, Dani, por tu apoyo, tu buena vibra, tus permanentes ganas de salir adelante e impulsarnos a ser mejores cada día. Sin ti no hubiese sido posible un pedacito de esto.

A todas y cada una de las personas que estuvieron apoyándome y aportándome lo mejor para que saliera adelante.

STEFANIA

AGRADECIMIENTOS

A los Ingenieros Guillermo Capacho y Jorge Vélez por permitirme dar el primer paso para obtener este proyecto.

A los Ingenieros Jorge Marín y Oscar Fernando López por su colaboración y orientación permanente durante el desarrollo del proyecto.

A mis colaboradores en Halliburton-Baroid, Camilo Ray, Carlos Bautista, Nidia, Rodrigo Burgos y al ingeniero Carlos Montoya por orientarme en este proceso durante el trabajo en el laboratorio.

A la Universidad Industrial de Santander y sus profesores que con sus enseñanzas nos hacen mejores como personas y profesionales

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	17
1. GENERALIDADES DE LAS LUTITAS	18
1.1 PROBLEMAS DE INESTABILIDAD DE LAS LUTITAS	19
1.2 MINERALES ARCILLOSOS	22
1.2.1 Estructura atómica	22
1.2.2 Clases de arcilla	23
1.3 MIINERALES ARCILLOSOS HIDRATABLES	24
1.3.1 Esmectita	24
1.3.2 Montmorillonita	26
1.3.3 Vermiculita	28
1.4 MINERALES ARCILLOSOS NO HIDRATABLES	28
1.4.1 Clorita	28
1.4.2 Illita	29
1.4.3 Caolinita	31
1.5 QUIMICA DE LAS ARCILLAS EN LOS FLUIDOS DE PERFORACION	33
1.5.1 Propiedades fisico-quimicas de las arcillas	34
1.6 PROCESOS DE ENLACE DE LAS PARTICULAS DE ARCILLA	40
1.6.1 Agregación	40
1.6.2 Dispersión	41
1.6.3 Floculado	42
1.6.4 Estado hidratado	42
2. ESTABILIDAD DEL POZO DURANTE LA PERFORACION DE SHALE	46
2.1.1 Efectos mecánicos	46
2.1.2 Efectos químicos	47
2.2 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA INESTABILIDAD DEL HUECO	48

2.2.1 Difusión de Presión de Poro, Plasticidad y Anisotropía	48
2.2.2 Efectos Capilares, Osmosis y Alteración Físico-química	49
2.2.3 Efecto de la baja permeabilidad del shale sobre la estabilidad del hueco	51
2.2.4 Efecto del peso del lodo de perforación en la estabilidad del shale	52
2.2.5 Hinchamiento y Reducción del Hueco	52
2.2.6 Derrumbes, Pegas y “Entrampamiento” de la Broca	53
2.2.7 Deshidratación y Modificación de las Propiedades Reológicas del lodo	55
3. PRUEBAS DE LABORATORIO	56
3.1 MEDICIONES DE FILTRACIÓN DE REVOQUE DE BAJA PRESIÓN, BAJA TEMPERATURA Y ALTA PRESIÓN Y ALTA TEMPERATURA (HPHT).	56
3.1.1 Prueba de baja presión, baja temperatura	56
3.1.2 Prueba de alta presión, alta temperatura	57
3.2 PERMEABILITY PLUGGING TEST (PPT)	60
3.3 HINCHAMIENTO LINEAL.	65
3.3.1 Procedimiento general	66
3.3.2 Medidor de hinchamiento lineal	68
3.3.3 Medición del hinchamiento lineal:	72
4. DESCRIPCIÓN DE LOS FLUIDOS DE PERFORACION BASE AGUA EMPLEADOS EN EL ESTUDIO	77
4.1 SISTEMA INHIBIDOR DE ARCILLA BASE AGUA:	77
4.1.1 Comentarios generales del sistema inhibidor base agua tenidos en cuenta para el rediseño	79
4.1.2 Comentarios específicos del lodo	80
4.2 SISTEMA INHIBIDOR DE ARCILLA BASE AGUA MEJORADO (LODOBASE)	83
4.2.1 Consideraciones generales antes de iniciar las pruebas	85
4.2.2 Características del sistema	87
4.3 ANALISIS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS	89
4.3.1 Pruebas Reológicas	89
4.3.2 Prueba MBT e hinchamiento lineal	91

5. CONCLUSIONES	101
6. RECOMENDACIONES	102
BIBLIOGRAFÍA	103
ANEXOS	106

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Estructura atómica de los minerales arcillosos.	23
Figura 2 estructura básica de la esmectita	25
Figura 3. Esmectita se expande facilmente con el agua	26
Figura 4. Estructura de la montmorillonita	27
Figura 5. Estructura de una clorita	29
Figura 6. Lamina de illita unidas por enlaces fuertes de potasio	31
Figura 7. Estructura atómica de la illita	31
Figura 8. Láminas de caolinita unidas por enlaces fuertes de H y O	32
Figura 9. Dibujo esquemático de la estructura de la caolinita	32
Figura 10. Hidratacion de las arcillas a traves del enlace de hidrogeno	38
Figura 11. Agregación	41
Figura 12. Dispersión	41
Figura 13. Floculado	42
Figura 14. Etapas secuenciales en la interacción del agua con la arcilla	43
Figura 15. Prueba de baja presión, baja temperatura	57
Figura 16. Equipo prueba Alta Presión, Alta Temperatura (HPHT)	58
Figura 17. Permeability Plugging Test (PPT)	62
Figura 18. Disco de Aloxita en remojo	63
Figura 19. Termómetro en orificio de celda, Prueba PPT	63
Figura 20. Procedimiento general	66
Figura 21. Equipo para prueba de Hinchamiento Lineal.	67
Figura 22. Procedimiento para la determinación de MBT	75
Figura 23. Esquema del pozo.	84
Figura 24. Agentes Puenteantes.	86
Figura 25. Cortes de la formación	92
Figura 26. Prueba MBT	93

LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
Gráfica 1. Resultados prueba MBT	94
Gráfica 2. Reología de los diferentes lodos formulados	96
Gráfica 3. Comportamiento gel de los diferentes lodos formulados	97
Gráfica 4. Valor Filtrado API de los lodos formulados.	97
Gráfica 5. Hinchamiento lineal.	98
Gráfica 6. Hinchamiento lineal para diferentes concentraciones de Inhibidor	99

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Clasificación de las lutitas de acuerdo al contenido de arcilla.	21
Tabla 2 Clasificación de minerales arcillosos según propiedades expansivas.	24
Tabla 3. Minerales de arcilla vs Agua	33
Tabla 4. Capacidad de Intercambio Catiónico de algunos minerales arcillosos.	35
Tabla 5. Formulación Sistema inhibidor de arcilla base agua.	78
Tabla 6. Propiedades del sistema inhibidor de arcilla base agua.	83
Tabla 7. Formulación Lodo Base para el sistema mejorado	84
Tabla 8. Equivalencias entre campo y laboratorio	86
Tabla 9. Lodo base agua mejorado.	87
Tabla 10. Características de los productos del sistema inhibidor de arcilla base agua mejorado:	88
Tabla 11. Tamaño de partícula prueba PPT	89
Tabla 12. Resultado pruebas al fluido inhibidor de arcilla base agua mejorado	90
Tabla 13. Resultados prueba MBT.	93
Tabla 14. Formulación con diferentes inhibidores.	95
Tabla 15. Resultados pruebas realizadas a los nuevos fluidos formulados.	96
Tabla 16. Formulación fluido de perforación base agua inhibidor de arcillas.	100

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. Fotografías de los revoques obtenidos en laboratorio.	106
ANEXO B. Información técnica de los productos	108
ANEXO C. MSDS de los productos	118

RESUMEN

TÍTULO: REDISEÑO DE UN FLUIDO DE PERFORACIÓN PARA UN YACIMIENTO DE SHALE GAS APLICADO A UN CAMPO COLOMBIANO*.

AUTOR: STEFANIA MARTINEZ TRIGOS**

PALABRAS CLAVES: Shale gas, rediseño, fluido de perforación, base agua, inhibidores

El shale gas es una roca que cuenta con abundante contenido de materia orgánica y en su mayor parte está compuesta de minerales arcillosos de tamaños consolidados y con fracturas naturales. Uno de los principales problemas que se presenta en pozos con presencia de este tipo de rocas es la estabilidad del hueco lo cual desencadena problemas con la limpieza del hueco y la tasa de penetración. Por lo tanto las características mineralógicas y petrofísicas de las arcillas requieren de un fluido de perforación de alto rendimiento pero al mismo tiempo rentable con el fin de poder aprovechar al máximo el recurso.

Actualmente para mantener estable las condiciones del pozo durante la perforación se emplean inhibidores químicos de arcilla tanto en los fluidos de perforación a base de aceite como en los que son base-agua.

En los fluidos de perforación base-agua, se requieren inhibidores químicos para reducir o minimizar la interacción de la arcilla, de lo contrario el agua podría dispersarse dentro de la matriz de está causando hinchamiento, fracturas a lo largo de los planos de estratificación y solubilidad de ciertos minerales presentes como carbonato de calcio y sales de aluminio.

*Proyecto de grado

**Facultad de Ingeniería Físico – Químicas, Escuela de Ingeniería de Petróleos, Director: ING. Oscar Lopez, Co-director: ING Jorge Marin-Halliburton.

ABSTRACT

TITLE: REDESIGN OF A DRILLING FLUID RESERVOIR FOR SHALE GAS FIELD APPLIED TO A COLOMBIAN*

AUTHOR: STEFANIA MARTINEZ TRIGOS**

KEYWORDS: Gas shale, water based fluid, redesign, chemical inhibitors.

Gas shale are organic-rich and predominantly comprised of consolidated clay-sized particles and with natural fractures. One of the principal drilling related issues are wellbore stability which can cause problems with hole cleaning and rate penetration. That's why the mineralogy and petrophysical shale characteristics requires high quality and cost-effective drilling fluids for a successful development of the resources.

Currently, to keep wellbore stable during drilling operations chemical shale inhibitors are used in both oil based and water based drilling fluids.

In the water based fluids, shale inhibitors are required to minimize the clay interaction, otherwise the presence of water in the fluids can diffused into the shale matrix causing swelling of clays, fracturing along bending and solubilization of calcium carbonate and aluminum salts.

This project focuses on the analysis of well drilling programs developed by the company and evaluation of the reservoir characteristics using properly chemical inhibitors and redesign stable water based fluids.

*Thesis

**Faculty of Physical - ChemicalEngineering, Petroleum Engineering School, Director: ING. Oscar Lopez, Co-director: Jorge Marin-Halliburton.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años ha aumentado la perforación de yacimientos no convencionales de shale gas. Para este tipo de formaciones el fluido de perforación base aceite es el de mayor elección, estos fluidos pueden proporcionar ventajas tales como lubricidad y estabilización de la arcilla; la contaminación, consecuencias ambientales y los costos asociados a estos eventos son parte de las limitaciones. Estas desventajas hacen que las compañías operadoras accedan a la utilización de fluidos de perforación base-agua. Pero estos fluidos no son considerados como una solución definitiva ya que la mineralogía de las arcillas y las temperaturas de fondo representan solo dos factores críticos muy variables en yacimientos de este tipo.

Sin embargo, si se realiza un análisis detallado que incluya no solo la morfología y litología de la arcilla si no también los planes del programa de perforación, factores ambientales, el empleo adecuado de productos químicas y otras consideraciones específicas del yacimiento que ya ha sido operado con un fluido de perforación base-agua, se podría realizar la implementación exitosa del fluido en campos con presencia de arcilla.

Los detalles del proceso para rediseñar un fluido de perforación base-agua en un yacimiento de shale gas, así como el análisis específico de un fluido ya desarrollado por la compañía, se presentan en este proyecto describiendo el desarrollo de las pruebas físicas, químicas y reológicas y los resultados obtenidos en laboratorio que dan evidencia que los fluido de perforación base-agua pueden proporcionar un rendimiento comparable al de los fluidos base aceite pero con beneficios ambientales mejorados.

1. GENERALIDADES DE LAS LUTITAS

Las rocas arcillosas como las lutitas, son rocas sedimentarias que presentan baja permeabilidad y están compuestas principalmente de minerales finamente divididos, como cuarzo, feldespato, calcita y en su mayoría minerales arcillosos. Aunque muestran pobre conectividad entre sus gargantas de poro, tienen buenas porosidades y se encuentran saturadas con agua de la formación. Se caracterizan por poseer un tamaño de partícula de aproximadamente 2 micrones y presentar estructura laminar.

En general, el término arcilla se aplica a un material natural, terroso, de tamaño de grano fino y que muestra plasticidad cuando es mezclado con una cierta proporción de agua.

Entendemos por plasticidad aquella propiedad de un material humedecido mediante la cual se deforma al serle aplicada una presión, conservando la deformación una vez esta ha cesado. La composición química de la arcilla está caracterizada por la presencia de Si, Al y H₂O, junto a cantidades variables de Mg, Mn, Fe, Ca, Na y K, principalmente. Es un término que no posee connotaciones genéticas, esto es, no nos indica nada respecto del origen de la roca (continental o marino, sedimentario o hidrotermal, etc.).

Las lutitas se clasifican generalmente según los valores relativos de titulación que producen con el azul de metileno (MBT), y según la cantidad de agua que contengan. Lutitas blandas generalmente tienen valores de MBT en el rango de 20-40 meq/100g, mientras que las lutitas quebradizas pueden tener valores tan bajos como 0-3 meq/100g. Lutitas blandas se encuentran generalmente en profundidades superficiales, mientras que las más duras y quebradizas son más antiguas y están más abajo.

Las lutitas pueden ser afectadas por la acción mecánica y el ambiente químico que las rodea. Es productivo poder anticipar qué tipos de lutitas se van a perforar, y cómo podrían reaccionar al contacto con un tipo particular de fluido, y qué se puede hacer para reducir los problemas asociados con ellas. Los tipos de lutitas se comportan diferentes, y cada tipo de lutita se puede a menudo relacionar con un problema potencial del hueco

Las lutitas se caracterizan por poseer una baja permeabilidad y una alta sensibilidad al agua. Los pequeños diámetros de poro explican por qué las lutitas se consideran frecuentemente impermeables. La permeabilidad puede oscilar entre 10^{-6} y 10^{-12} D, pero se encuentra por lo general en el orden de los nanodarcies (10^{-9} D). El tamaño promedio de poro de las lutitas también es muy pequeño: oscila entre 1 y 10 nm. La porosidad total de las lutitas disminuye con la compactación (profundidad), al igual que sucede con otras rocas.¹

1.1 PROBLEMAS DE INESTABILIDAD DE LAS LUTITAS

Los problemas que ocasionan las lutitas son un resultado directo de la manera como la lutita reacciona con el agua del fluido de perforación. La hidratación debido al agua tiende a reducir la resistencia de las lutitas.

La pérdida de resistencia aumenta la inestabilidad del pozo. Los sedimentos más recientes se ablandan, hinchan y dispersan cuando se mezclan con el agua. Las lutitas más antiguas, y que generalmente han pasado por diagénesis, pueden conservar su dureza y no se dispersarán fácilmente en agua.

¹ CIFUENTES, Erik H. "Procedimiento para pegar stringers en muestras de roca". Presentación. Personal Técnico Laboratorio de Mecánica de Rocas del Instituto Colombiano de Petróleos ICP.

Desafortunadamente, esto no significa que sea más fácil perforar las lutitas más antiguas. La inestabilidad de las lutitas puede ser el resultado de cualquiera de los siguientes factores, o una combinación de los mismos:

a. Fuerzas mecánicas

- Erosión (conduce a tener tamaños y formas diferentes en los ripios).
- Diferencial de presión (las lutitas cargadas originan astillas de lutitas puntiagudas).
- “Latigazos” de tubería (muchos tamaños diferentes provenientes de distintas formaciones).
- Surgencia y succión (lo cual conduce a pérdida de circulación o grandes cantidades de relleno y escombros).

b. Presión de sobrecarga.

c. Presión de poro.

d. Fuerzas tectónicas.

e. Adsorción de agua (hidratación).

Es conveniente clasificar las lutitas problema de acuerdo a la cantidad de arcilla sensible al agua que ellas contengan. Estas arcillas incluyen montmorillonita, la cual exhibe gran cantidad de dispersión e hinchamiento; illita, que se hincha y se dispersa a un menor grado; y las arcillas interlaminares que están compuestas de inter estratificaciones al azar de illitas y montmorillonitas. La tendencia a la dispersión es más alta para estas arcillas debido a que la estratificación intermitente reduce el número de enlaces fuertes entre las partículas. Puesto que una porción de la estructura se hidrata a un grado más alto que la otra, un hinchamiento no uniforme toma lugar diferente al caso de la montmorillonita o illita pura. Estas diferencias en el hinchamiento y aumento de los esfuerzos de hidratación tienden a debilitar la estructura. En la categorización, es también útil incluir fracciones de clorita ya que estas arcillas, mientras solo se expanden levemente y son relativamente no dispersables, alteran completamente el comportamiento de la

lutita. Tal esquema de clasificación ayuda en la discusión sobre el mejor tipo de fluido a emplear en un caso dado. La clasificación de lutitas encontradas en la práctica de perforación es presentada en la Tabla 1. Las cinco clases son basadas en una combinación del contenido de arcilla total e individual, firmeza, características de la matriz y tendencia a la hidratación y dispersión². Una vez se ha entendido el término de lutita, se mostrará en forma más detallada la mineralogía correspondiente a las arcillas y sus propiedades más importantes.

Tabla 1. Clasificación de las lutitas de acuerdo al contenido de arcilla.

TIPO DE LUTITA	PROBELMAS TIPICOS	CONTENIDO DE AGUA %	TIPO DE ARCILLA
BLANDA	Estrechamiento del hueco. Ensanchamiento del hueco. Embolamiento de la broca. Anillos de lodo.	25 – 70	Alta en Montmorillonita y algo de illita.
BLANDA	Estrechamiento del hueco. Washout debido a un mayor grado de dispersión. Embolamiento de la broca. Formación de cavernas.	15 – 25	Alta en Montmorillonita pero mayor contenido de illita.
MEDIANAMENTE DURA	Dispersión moderada y tendencia a derrumbamiento.	2 – 10	Alta en arcillas interestratificadas e illita y algo de clorita.
DURA	Poca dispersión e hinchamiento y tendencia a derrumbamiento. Formación de cavernas. Estrechamiento del hueco debido a esfuerzos de sobrecarga.	5 – 15	Contenido moderado de illita y clorita.

² RESTAN, Luis José y OSPINA, Gustavo Adolfo. Estudio de factibilidad para el uso del mucilago de fique como producto estabilizador de arcillas. Trabajo de grado Ingeniero de Petróleos. Bucaramanga.: Universidad industrial de Santander. Facultad de ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos, 2005.

MUY DURA Y QUEBRADIZA	No hay dispersión significativa. Formación de cavernas. Colapso del pozo.	2 – 5	Alta en illita y moderada en caolinita y clorita.
-----------------------	--	-------	---

Fuente: Chenevert M. et al.: Stabilizing sensitive shales with K-based drilling fluids. 1973.

1.2 MINERALES ARCILLOSOS

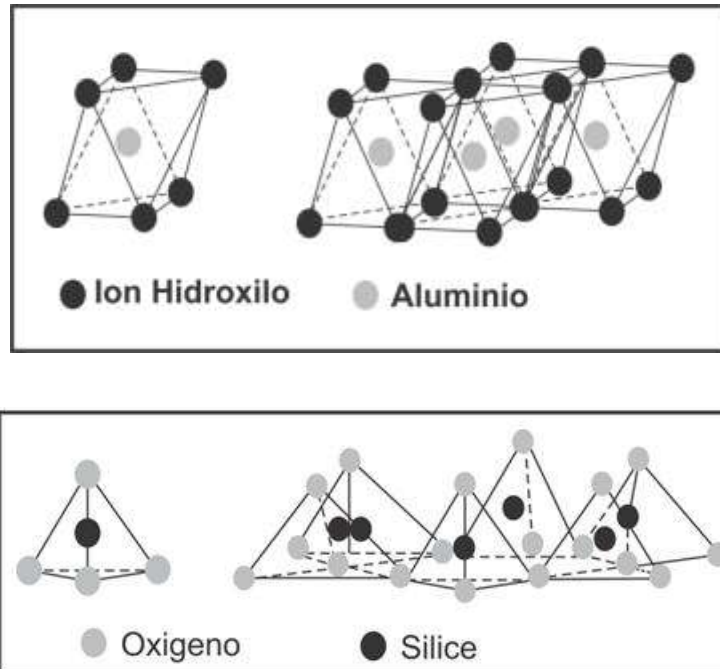
Los minerales arcillosos son formados principalmente por la meteorización química de las rocas, es decir que estos minerales son producto de la alteración de minerales preexistentes en la roca.

Los principales elementos químicos constituyentes de estos minerales son átomos de: silicio, aluminio, hierro, magnesio, hidrógeno y oxígeno. Estos elementos atómicos se combinan formando estructuras atómicas básicas, que combinándose entre sí forman láminas, la que al agruparse forman estructuras laminares que finalmente al unirse por medio de un enlace forman un mineral de arcilla.

1.2.1 Estructura atómica. La estructura atómica de los minerales arcillosos consiste de dos unidades básicas, una Lámina octaédrica (parte superior figura 1) y una tetraédrica (parte inferior figura 1). La lámina octaédrica está compuesta de oxígenos empaquetados muy cercanos e hidroxilos; en el cual átomos de aluminio, hierro y magnesio están dispuestos en coordinación octaédrica (Figura 1). Cuando el aluminio con una valencia positiva de tres es el catión presente en la lámina octaédrica, solo dos tercios de las posibles soluciones son llenados con el fin de balancear las cargas. Cuando solo dos terceras partes de las posiciones son llenadas, el mineral es llamado Di-octaédrico. Cuando el magnesio con una carga positiva de dos está presente, todas las tres posiciones son llenadas para balancear la estructura y el mineral es llamado tri-octaédrico. La segunda unidad estructural es la capa de sílice tetraédrica en el cual el átomo de silicio es equidistante de cuatro oxígenos o posiblemente hidroxilos dispuestos en la forma de un tetraedro con un átomo de silicio en el centro (Figura 1). Estos tetraedros están arreglados formando

una estructura hexagonal que se repite infinitamente en dos direcciones horizontales para formar lo que es llamado la lámina de sílice tetraédrica³

Figura 1 Estructura atómica de los minerales arcillosos.



Fuente: MURRAY H.H. Applied Clay Mineralogy: Occurrences, Processing and Application of kaolinis, Bentonites, Palygorskite, sepiolite, and common Clays.1

1.2.2 Clases de arcilla. Básicamente no todas las formaciones arcillosas son problemáticas. En efecto la inestabilidad durante la perforación está asociada a la clase y cantidad de los minerales arcillosos que la conforman. Consecuentemente es importante en perforación distinguir las arcillas hidratables y las no hidratables. En la Tabla 2 Se clasifican los minerales arcillosos más comunes según sus propiedades expansivas.

³MURRAY H.H. Applied Clay Mineralogy: Occurrences, Processing and Application of kaolinis, Bentonites, Palygorskite, sepiolite, and common Clays.1 ed. : Elsevier: science and technology. 2007. P7)

Tabla 2 Clasificación de minerales arcillosos según propiedades expansivas.

Arcillas Expandibles		Arcillas no expandibles
Esmectitas	Vermiculita	
Grupo de las montmorillonitas <ul style="list-style-type: none"> • Saponita (montmorillonita de magnesio) • Nontronita (montmorillonita de hierro) • Hectorita (montmorillonita de litio) • Beidelita (montmorillonita de calcio) 	Mineral arcilloso con carga más alta que la esmectita	<ul style="list-style-type: none"> • Caolinita • Illita • Clorita

Fuente: Chenevert M. et al.: Stabilizing sensitive shales with K-based drilling fluids. 1973.

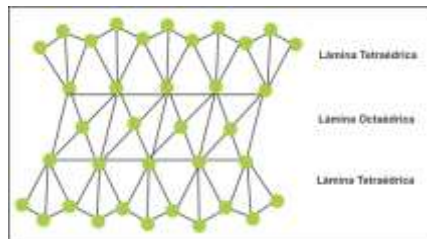
1.3 MIINERALES ARCILLOSOS HIDRATABLES

1.3.1 Esmectita. Los principales minerales esmectíticos son montmorillonita de sodio, montmorillonita de calcio, saponita (montmorillonita de magnesio), nontronita (montmorillonita de hierro), hectorita (montmorillonita de litio), beidelita (montmorillonita de aluminio). Los minerales esmectíticos están compuestos de dos láminas tetraédricas de sílice con una lámina octaédrica central, y están designadas como una capa mineral 2:1. Las moléculas de agua y cationes ocupan el espacio entre las capas 2:1.3.

Las Esmectitas consisten de una capa de aluminio octaédrica intercalado entre dos capas de sílice tetraédrica (Figura 2). EL aluminio puede ser remplazado por átomos de magnesio o hierro causando un desequilibrio de cargas que es contrarrestado por la asociación de cationes positivos en la superficie de las partículas. Estos cationes pueden ser monovalentes, como por ejemplo el sodio, o divalentes como el calcio.

El carácter de intercambio catiónico influye en la medida en la cual la montmorillonita se hinchará. Los cationes divalentes, debido a la carga extra, tienden a asociarse con partículas adyacentes y consecuentemente restringir el hinchamiento de la arcilla. Por esta razón la montmorillonita de calcio es más pobre viscosificante que la montmorillonita de sodio⁴.

Figura 2 estructura básica de la esmectita



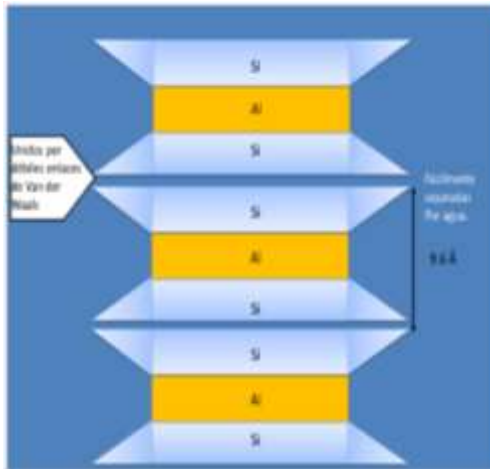
Fuente: Amoco Production Company, Drilling Fluids manual

La característica sobresaliente de la estructura de la montmorillonita es que el agua y otras moléculas polares, tales como ciertas moléculas orgánicas, pueden entrar entre las láminas de la unidad causando que el mineral se expanda en la dirección “y”. La dimensión del eje “y” de la montmorillonita no es fija, pero su valor se encuentra alrededor de 9.6 Å (Figura 3). Cuando las moléculas no polares están entre las láminas de la unidad (para arcillas secas), su valor se incrementa, llegando a un rango de hinchamiento que va desde 12.5 a 20 Å, o en algunos casos hasta la separación completa. La cantidad de agua que puede absorber la unidad está controlada por su estructura y por la naturaleza del catión intercambiable.⁵

⁴Amoco Production Company, Drilling Fluids manual

⁵GRIM, R.: applied Clay Mineralogy, 1st ed. 1962 McGraw-Hill, New York.

Figura 3. Esmeclita se expande facilmente con el agua



Fuente: GRIM, R.: applied Clay Mineralogy, 1st ed. 1962 McGraw-Hill, New York.

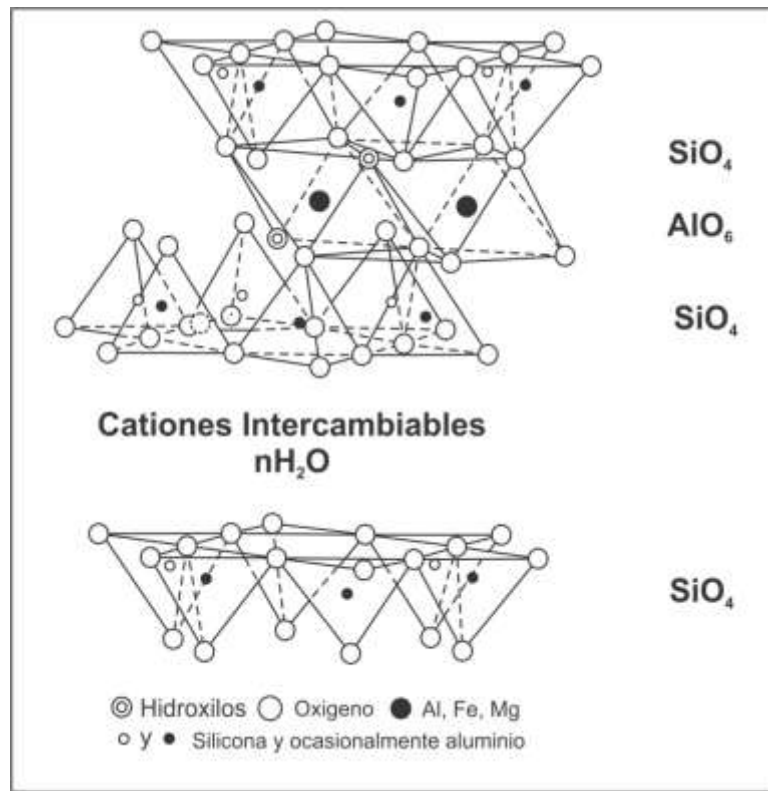
1.3.2 Montmorillonita. La Figura 4 muestra la estructura generalmente aceptada para la Montmorillonita la cual está compuesta por unidades formadas por dos hojas tetraédricas de Silicio, separadas por una hoja octaédrica de Aluminio. Todos los picos de los tetraedros apuntan en la misma dirección y hacia el centro de la unidad. Las hojas tetraédricas y octaédricas se combinan de manera que los picos de los tetraedros de cada hoja de Silicio y una de las capas de Oxhidrilos de la hoja octaédrica forman una capa común.⁶

En la superposición de unidades Silicio-Aluminio-Silicio, las capas de Oxígenos de cada una están junto a Oxígenos de unidades vecinas, con la consecuencia de que habrá una unión muy débil entre ellas y por supuesto una amplia separación (Forero, 1978).

Esto se convierte en una propiedad sobresaliente de la Montmorillonita, ya que el agua y otras moléculas polares, como ciertas sales orgánicas, pueden colocarse entre estas capas causando la expansión o hinchamiento de la arcilla en la dirección c.

⁶Rodríguez R. Y Bravo M. Estudio De La Inestabilidad De Las Lutitas Durante La Perforación. Tesis de Grado. UIS.Pg 20-24. 1976.

Figura 4. Estructura de la montmorillonita



Fuente: GRIM, R.: applied Clay Mineralogy, 1st ed. 1962 McGraw-Hill, New York

Normalmente, es decir, cuando no hay moléculas polares entre las capas, el valor de la separación es de aproximadamente 9.60 Å (Grim, 1962); mientras que en el caso contrario puede llegar hasta la separación completa. Los cationes reemplazables se encuentran entre las capas de Silicio, y la separación de estas depende del tamaño de los cationes, así por ejemplo, bajo condiciones ordinarias una Montmorillonita cuyo ión reemplazable sea el Sodio, tiene una capa de agua y un espaciamiento en la dirección de aproximadamente 12.50 Å; mientras que si el ión reemplazable es el Calcio, tal dimensión será 15.50 Å.⁷

La fórmula teórica para la estructura dada es: (NaCa)(MgAl₂)(OH)₂ / Si₄O₁₀ ·H₂O y la composición sin el material entre capas es:

⁷GRIM, R.: applied Clay Mineralogy, 1st ed. 1962 McGraw-Hill, New York.

SiO ₂	66,7 %
Al ₂ O ₃	28,3 %
H ₂ O	5,00 %

La Montmorillonita se dispersa en forma relativamente fácil en el agua. Esto es particularmente cierto cuando el catión reemplazado es el Sodio, ya que en tal caso las partículas pueden separarse en unidades mínimas.

1.3.3 Vermiculita. La estructura cristalina de la vermiculita es semejante a la de la Illita (t-o-t); La diferencia radica en que la capa octaédrica de la vermiculita está compuesta principalmente de hierro y magnesio. Las láminas son fácilmente separables permitiendo que el agua ingrese al espacio interlaminar y expanda las capas. En efecto el espacio interlaminar se amplía de 10 a 14.4Å.

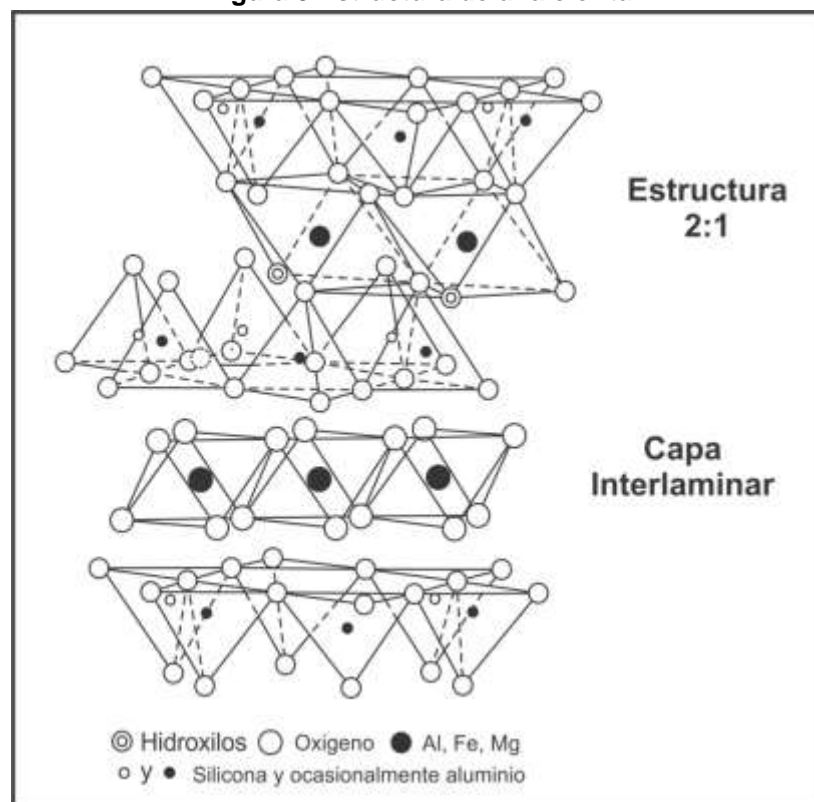
1.4 MINERALES ARCILLOSOS NO HIDRATABLES

1.4.1 Clorita. Son arcillas minerales las cuales están estructuralmente relacionadas a las arcillas de lámina 2:1. En estos minerales, los cationes compensantes de carga entre las capas de tipo montmorillonita son reemplazadas por un lámina octaedral de hidróxido de magnesio antiguamente llamada brucita. La lámina de estructura 2:1 está desbalanceada debido a la sustitución de sílice por aluminio, y este exceso de carga negativa es balanceado por un exceso de carga positiva en la lámina de brucita como una consecuencia de las sustituciones del magnesio por aluminio. El espaciamiento basal característico de cloritas es de 14.2 Å. Dado que estos minerales parecen existir siempre en mezclas con otros minerales arcillosos, los cuales han impedido el estudio de los atributos del mineral, poco es conocido referente a su dispersabilidad. Parece probable, sin embargo, que lo establecido

referente a la dispersabilidad y al tamaño de las partículas de illita aplicaría a los minerales de clorita. En la figura 5 se observa la estructura y fotografía de la clorita.

Existe un amplio rango de sustituciones de cationes en cloritas, la mayoría comúnmente son Mg^{2+} , Fe^{2+} , Al^{3+} , y Fe^{3+} . Las láminas de la clorita a diferencia de la Esmeclita, se encuentran fuertemente enlazadas por iones hidratados de magnesio, aluminio o hierro por lo cual se hace difícil al acceso de los electrolitos.

Figura 5. Estructura de una clorita



Fuente: Haydn. H Murray. "Applied Clay Mineralogy". Elsevier 2007.⁸

1.4.2 Illita. La unidad estructural básica está compuesta de dos capas tetraedrales de sílice con una capa octaédrica central de aluminio (figura 6). Ellas son distinguidas

⁸Haydn. H Murray. "Applied Clay Mineralogy". Elsevier 2007

de la montmorillonita principalmente por la ausencia de hinchamiento entre las capas.

En estos minerales (micas), uno de los cuatro átomos de sílice en la capa tetraedral es substituida por un átomo de aluminio, y el defecto de una carga positiva es compensado por un ión potasio el cual está localizado sobre la superficie de la capa.

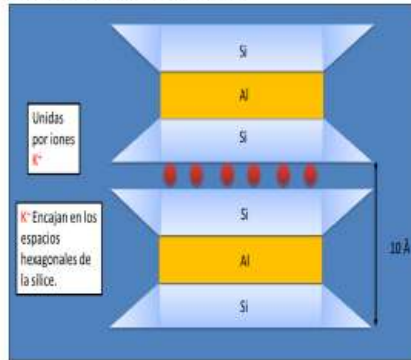
Dado que las láminas no se separan con la adición de agua, los iones potasio entre las láminas no están disponibles para intercambio, solamente estos iones potasio sobre las superficies externas pueden ser intercambiados por otros cationes. No hay sustitución en la capa octaedral en estos minerales.

El carácter no hinchable de las arcillas de illita es atribuido al efecto específico de unión electrostático mediante los iones potasio. Estas uniones son más fuertes que en las montmorillonitas donde la carga negativa se concentra más en la capa octaedral y de aquí que haya una distancia más grande de los iones potasio que en las illitas, la cual tiene una sustitución predominantemente tetraedral (carga concentrada en la superficie).

Cuando se colocan partículas de Illita en agua estas tienden a disgregarse considerablemente en las variedades pobremente cristalizadas, mientras que las bien cristalizadas se dispersan poco. Esta disgregación se debe a la separación entre las unidades de Silicio.⁹

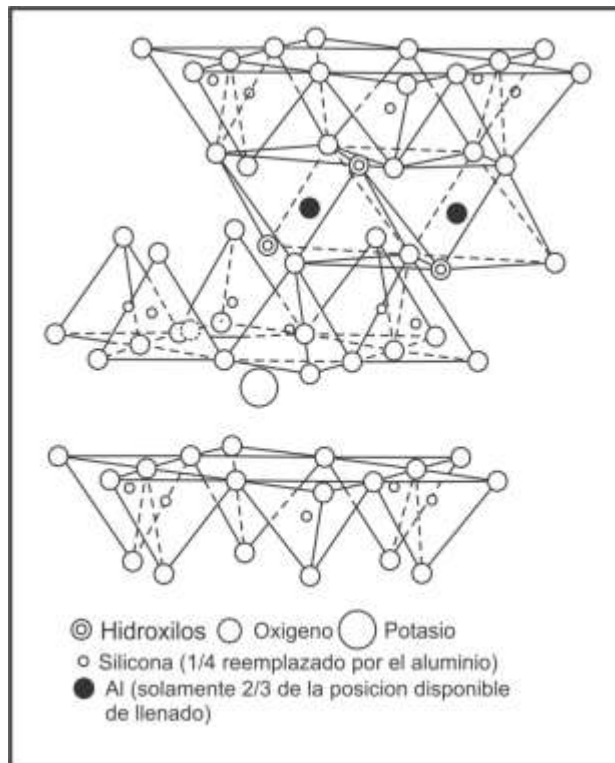
⁹Haydn. H Murray. "Applied Clay Mineralogy". Elsevier 2007

Figura 6. Lamina de illita unidas por enlaces fuertes de potasio



Fuente: Haydn. H Murray. "Applied Clay Mineralogy". Elsevier 2007

Figura 7. Estructura atómica de la illita



Fuente: GRIM, R.: applied Clay Mineralogy, 1st ed. 1962 McGraw-Hill, New York

1.4.3 Caolinita. Esta es una capa compuesta de una única lámina tetraédrica y una única lámina Octaédrica, que se combinan para formar una unidad en la cual la punta del tetraedro de sílice está unido con la lámina Octaédrica. La fórmula estructural para la caolinita es $Al_4Si_4O_{10}(OH)_8$ y la composición química teórica es SiO_2 , 46.54%; Al_2O_3 , 39.5%; y H_2O , 13.96%. La diferencia en las caolinitas con los

demás minerales arcillosos es la manera en la cual las unidades de capa están apiladas, una encima de cada otra. El espesor de la unidad de capas es 7.13 Å (Figura 8 y 9). Las cargas en la estructura de la caolinita se encuentran balanceadas.

Figura 8. Láminas de caolinita unidas por enlaces fuertes de H y O

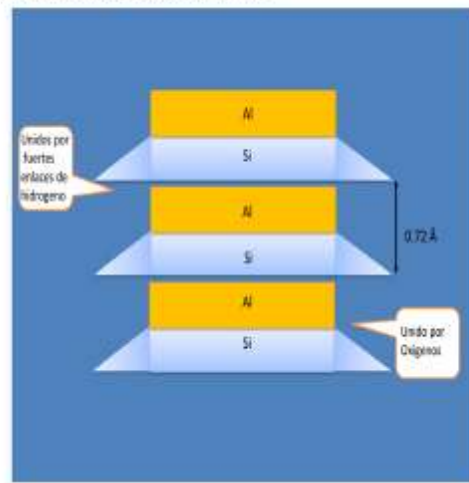
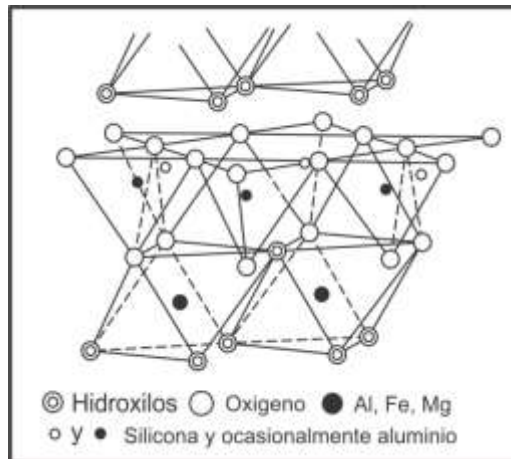


Figura 9. Dibujo esquemático de la estructura de la caolinita



Fuente: GRIM, R.: applied Clay Mineralogy, 1st ed. 1962 McGraw-Hill, New York

La unidad estructural de la caolinita está compuesta de una capa tetraédrica de sílice y una capa octaédrica de aluminio. Debido a la superposición de los planos de hidroxilo y oxígeno en unidades adyacentes, las unidades se mantienen juntas por enlaces de hidrogeno entre las capas. Este efecto enlazante del hidrogeno hace

que el mineral no sea fácilmente dispersable en agua. El espesor de estas unidades es de cerca de 7 Å. Las figuras 8 y 9 son un diagrama esquemático de la estructura de una caolinita.

Los minerales del grupo de la caolinita (dicrita, nacrita, halloysita, etc.) no son expandibles en agua, pero ciertos compuestos son capaces de expandir sus cristales como lo son las sales de acetato de potasio y compuestos con fuertes enlaces de hidrógeno tales como urea e hidracina. Dado que el espaciamiento basal de la caolinita no aloja los cationes intercapa, todos los cationes que compensan la carga pueden ser adsorbidos sobre las superficies exteriores de la pila de capas que representan una partícula, como ocurre en las montmorillonitas y en las illitas. En la tabla 3 se resume el comportamiento de los minerales de arcilla descritos anteriormente bajo la influencia del agua.

Tabla 3. Minerales de arcilla vs Agua

Fuente: ÁLVARO FERNANDO CASTILLO PARRALES “Evaluación y optimización de diferentes fluidos de perforación aplicados para el campo Villano, Operado por AgipOil Ecuador” Guayaquil,

Minerales de arcilla VS Agua	
Esméctita	(Montmorillonita) arcillas hinchables, sensibles al agua fresca, absorbe agua y se expande
Ilita	Se dispersa en agua fresca y migra rápidamente
Capas Mezcladas	Capas de esméctita /Ilita, arcillas hinchables, no tanto como la esméctita, se dispersan en agua fresca
Caolinita	Afectada por la dispersión y migración, en menor grado que la Ilita
Clorita	No es sensible al agua fresca, no se hincha, algunas veces sensible a los ácidos

Ecuador 2008.

1.5 QUIMICA DE LAS ARCILLAS EN LOS FLUIDOS DE PERFORACION

La química de las arcillas en los fluidos de perforación es el comportamiento de los sólidos reactivos en la fase acuosa y la manera en que dicho comportamiento afecta las propiedades del lodo.

El uso de las arcillas desempeñan un papel muy importante en los fluidos de perforación base agua, agregándose en forma intencional para controlar la viscosidad, propiedades reológicas y características del filtrado del fluido. Estas propiedades son modificadas mediante el uso de aditivos químicos, como yeso, sales en solución y cemento.

1.5.1 Propiedades fisico-químicas de las arcillas

1.5.1.1 Superficie Específica: La superficie específica o área superficial de una arcilla se define como el área de la superficie externa más el área de la superficie interna (en el caso de que esta exista) de las partículas constituyentes, por unidad de masa, expresada en m^2/g .

Las arcillas poseen una elevada superficie específica, muy importante para ciertos usos industriales en los que la interacción sólido-fluido depende directamente de esta propiedad.

A continuación se muestran algunos ejemplos de superficies específicas de arcillas:

- Caolinita de elevada cristalinidad hasta $15 \text{ m}^2/\text{g}$
- Caolinita de baja cristalinidad hasta $50 \text{ m}^2/\text{g}$
- Halloisita hasta $60 \text{ m}^2/\text{g}$
- Illita hasta $50 \text{ m}^2/\text{g}$
- Montmorillonita $80\text{-}300 \text{ m}^2/\text{g}$
- Sepiolita $100\text{-}240 \text{ m}^2/\text{g}$
- Paligorskita $100\text{-}200 \text{ m}^2/\text{g}$

1.5.1.2 Capacidad de intercambio catiónico: La teoría de disociación catiónica, sostiene que los cationes adsorbidos tienden a disociarse desde la superficie arcillosa cuando el mineral está en contacto con el agua, dejando algunas de las unidades estructurales negativamente cargadas; las fuerzas repulsivas hacen que las láminas se alejen permitiendo la entrada de agua entre ellas iniciando el proceso de hinchamiento.

La prueba azul de metileno es un indicador de la CEC aparente de una arcilla. Cuando se realiza esta prueba sobre un lodo se mide la capacidad total de intercambio de azul de metileno de todos los minerales arcillosos presentes en el lodo.¹⁰

Tabla 4. Capacidad de Intercambio Catiónico de algunos minerales arcillosos.

Mineral Arcilloso	Capacidad de Intercambio Catiónico miliequivalentes/100g
Caolinita	3 – 15
Illita	10 – 40
Clorita	10 – 40
Esmectita	80 – 150
Vermiculita	100 - 150

Fuente: Grim (1962), ha demostrado que la velocidad de las reacciones de intercambio varía con el mineral arcilloso, la naturaleza y la concentración de cationes y/o aniones.

Respecto a la naturaleza del mineral arcilloso, la reacción para la caolinita es rápida, casi instantánea, es más lenta para las esmectitas y para las illitas se requieren mayores períodos de tiempo: horas y muchas veces hasta días.

Respecto a la naturaleza del catión, el poder relativo de sustitución de un catión por otro en orden ascendente, se muestra en la siguiente serie: litio, sodio, potasio

¹⁰M-I SWACO SCHLUMBERGER COMPANY. Drilling Fluids Engineering Manual. Version v2s. 2006.

magnesio, calcio, aluminio. En general, los cationes polivalentes son adsorbidos más firmemente que los monovalentes. Debido a esta propiedad, en la industria del petróleo, se usan cationes polivalentes como estabilizadores, para prevenir los daños en las arcillas sensibles al agua. Las reacciones de intercambio catiónico usualmente tienen lugar en medio acuoso y los iones son considerablemente solubles. En el caso de los minerales arcillosos presentes en las formaciones de interés para la industria del petróleo, el intercambio se realiza con los cationes presentes en el agua de formación, estableciéndose así un equilibrio entre la arcilla y los iones presentes en los fluidos que saturan la roca (Carrillo, 1985).

1.5.1.3 Adsorción: Algunas arcillas encuentran su principal campo de aplicación en el sector de los absorbentes ya que pueden absorber agua u otras moléculas en el espacio interlaminar o en los canales estructurales.

La capacidad de absorción está directamente relacionada con las características texturales (superficie específica y porosidad) y se puede hablar de dos tipos de procesos que difícilmente se dan de forma aislada: absorción (cuando se trata fundamentalmente de procesos físicos como la retención por capilaridad) y adsorción (cuando existe una interacción de tipo químico entre el adsorbente, en este caso la arcilla, y el líquido o gas adsorbido, denominado adsorbato).

La capacidad de adsorción se expresa en porcentaje de adsorbato con respecto a la masa y depende, para una misma arcilla, de la sustancia de que se trate. La absorción de agua de arcillas absorbentes es mayor del 100% con respecto al peso.

1.5.1.4 Hidratación e hinchamiento: La polaridad del agua explica algunos de los fenómenos observados en los fluidos de perforación. Las arcillas y las lutitas son estructuras complejas, fuertemente cargadas. La atracción entre las cargas de la

molécula de agua y los sitios de carga de las laminillas de arcilla resulta en la hidratación de la arcilla. Las arcillas tienen una fuerte carga negativa en su gran superficie planar y cargas positivas a lo largo de sus bordes finos. El lado de hidrógeno positivo de la molécula de agua es atraído por la gran superficie negativa de la arcilla y formará un enlace de hidrógeno con ésta. Esta adsorción de agua puede tener un espesor de varias capas, esparciendo e hinchando las capas adyacentes de arcilla (Figura 13). El intercambio catiónico (intercambio de cationes con enlaces iónicos) dentro de una arcilla puede desplazar el agua de hidratación y flocular las partículas de arcilla, porque sus enlaces son más fuertes que los enlaces débiles de hidrógeno del agua.

La hidratación de las arcillas se produce mediante tres mecanismos:

Hidratación superficial: es el enlace de las moléculas de agua con átomos de oxígeno en la superficie de las plaquetas de arcilla.

Hidratación iónica: es la hidratación de los cationes de los estratos intercalados con las superficies cercanas de las moléculas de agua.

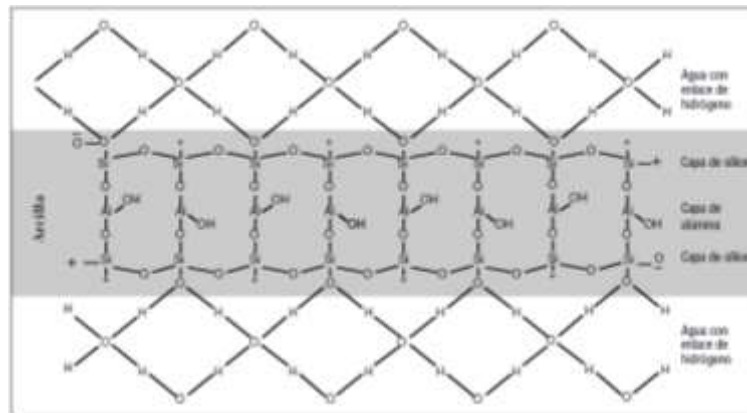
Hidratación osmótica: ocurre en algunas arcillas después de que las mismas se han hidratado iónicamente (generalmente, a una humedad del 100%). Todas las arcillas sufren hidratación, y la illita y la esmectita presentan diferentes grados de hidratación iónica.

La hidratación de las lutitas (adsorción superficial y absorción osmótica) conducirá a dos problemas diferentes bien definidos:

- 1. Hinchamiento** - expansión de las arcillas debido a la absorción de agua
- 2. Dispersión** - desintegración del cuerpo de las lutitas por el contacto con agua.

Debido a que la lutita posee minerales no arcillosos como el cuarzo y el feldespato, además de una mezcla de arcillas, se producirá una combinación de mecanismos de hidratación en el mismo pedazo de roca. Los minerales no arcillosos no reaccionarán, mientras que la clorita, caolinita e illita se hidratarán dando problemas de sólidos, y la esmectita se hidratará, hinchará y reaccionará con soluciones iónicas. El grado de hinchamiento es controlado por la actividad de la solución a temperatura ambiente. Cuando se sumerge la esmectita en agua, la hidratación de los cationes en la arcilla hace que los mismos se disocian de su superficie, creando un desequilibrio eléctrico en la arcilla, lo cual a su vez hace que ésta “explote” absorbiendo grandes volúmenes de agua. Las sales con solubilidad relativamente elevada, como KCl y CaCl₂, son sumamente efectivas para reducir el hinchamiento, pues este mecanismo reduce la disociación de los cationes.

Figura 10. Hidratación de las arcillas a través del enlace de hidrogeno



Fuente: M-I Swaco Drilling Fluids Engineering Manual.

1.5.1.5 Plasticidad: Las arcillas son eminentemente plásticas. Esta propiedad se debe a que el agua forma una envuelta sobre las partículas laminares produciendo un efecto lubricante que facilita el deslizamiento de unas partículas sobre otras cuando se ejerce un esfuerzo sobre ellas.

La elevada plasticidad de las arcillas es consecuencia, nuevamente, de su morfología laminar, tamaño de partícula extremadamente pequeño (elevada área superficial) y alta capacidad de hinchamiento.

Generalmente, esta plasticidad puede ser cuantificada mediante la determinación de los índices de Atterberg (Límite Líquido, Límite Plástico y Límite de Retracción). Estos límites marcan una separación arbitraria entre los cuatro estados o modos de comportamiento de un suelo sólido, semisólido, plástico y semilíquido o viscoso (Jiménez Salas, et al., 1975).

La relación existente entre el límite líquido y el índice de plasticidad ofrece una gran información sobre la composición granulométrica, comportamiento, naturaleza y calidad de la arcilla. Existe una gran variación entre los límites de Atterberg de diferentes minerales de la arcilla, e incluso para un mismo mineral arcilloso, en función del catión de cambio. En gran parte, esta variación se debe a la diferencia en el tamaño de partícula y al grado de perfección del cristal. En general, cuanto más pequeñas son las partículas y más imperfecta su estructura, más plástico es el material.

1.5.1.6 Tixotropía: La tixotropía se define como el fenómeno consistente en la pérdida de resistencia de un coloide, al amasarlo, y su posterior recuperación con el tiempo. Las arcillas tixotrópicas cuando son amasadas se convierten en un verdadero líquido. Si, a continuación, se las deja en reposo recuperan la cohesión, así como el comportamiento sólido. Para que una arcilla tixotrópica muestre este especial comportamiento deberá poseer un contenido en agua próximo a su límite líquido. Por el contrario, en torno a su límite plástico no existe posibilidad de comportamiento tixotrópico.¹¹

¹¹ EMILIA GARCIA ROMERO, "Las arcillas: propiedades y usos", Universidad Complutense, Madrid.

1.6 PROCESOS DE ENLACE DE LAS PARTICULAS DE ARCILLA

Los distintos procesos de enlace de las partículas de arcilla son importantes para la reología de las suspensiones de arcilla.

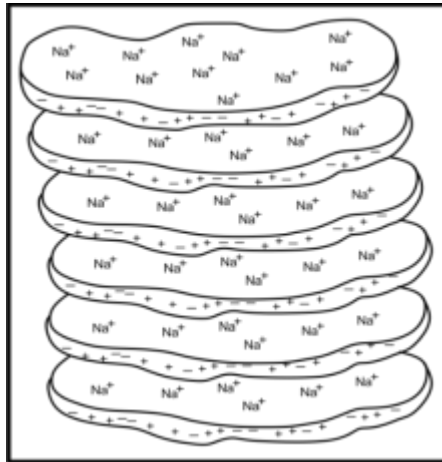
Las partículas coloidales se mantienen indefinidamente en suspensión debido a su tamaño extremadamente pequeño. Solamente se aglomeran en unidades largas, pueden tener tasas de sedimentación finitas. Estos tipos de asociación son los siguientes:

1.6.1 Agregación: Indica la asociación de plaquetas individuales de arcilla cara – cara para formar una pila o columna.

Usualmente la agregación disminuye la viscosidad y la resistencia de gel, a la vez que la filtración aumenta. Se debe tomar en cuenta, que la orientación cara – cara de las partículas de arcilla no los devuelve a su densidad original y su forma compacta. Se pueden dispersar estos agregados sometiéndolos a corte mecánico y/o tratamiento químico.¹²

¹²ÁLVARO FERNANDO CASTILLO PARRALES “Evaluación y optimización de diferentes fluidos de perforación aplicados para el campo Villano, Operado por AgipOil Ecuador” Guayaquil, Ecuador 2008.

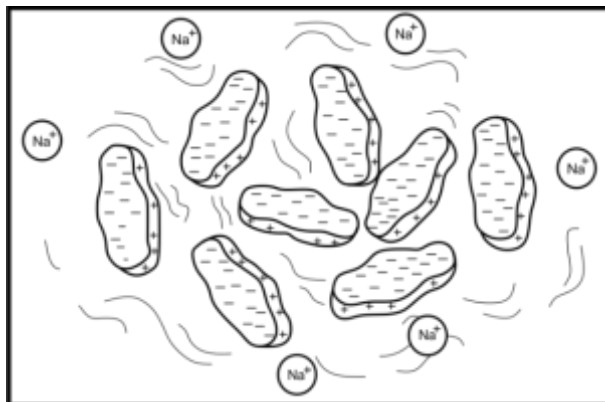
Figura 11. Agregación



Fuente: Manual de educación continua Halliburton

1.6.2 Dispersión: La dispersión, reacción contraria a la agregación, resulta en un mayor número de partículas y viscosidades plásticas más altas. Las laminillas de arcilla son normalmente agregadas antes de ser hidratadas y cierta dispersión ocurre a medida que se hidratan. El grado de dispersión depende del contenido de electrolitos en el agua, del tiempo, de la temperatura, de los cationes intercambiables en la arcilla y de la concentración de arcilla.³

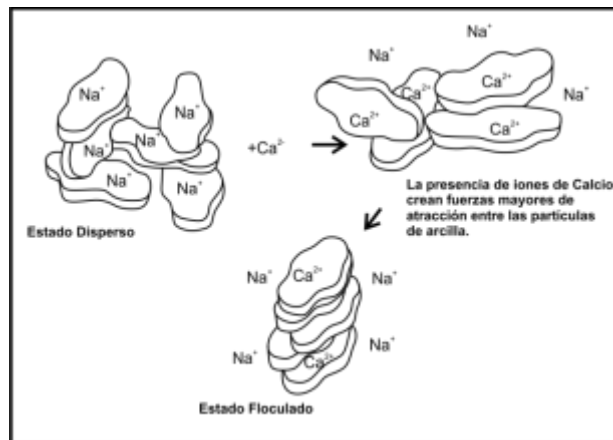
Figura 12. Dispersión



Fuente: Manual de educación continua Halliburton

1.6.3 Floculado: Un sistema se puede describir como floculado cuando se desarrollan fuerzas netas de atracción entre las partículas de arcillas, mediante estas fuerzas de atracción así creadas las partículas de arcilla se asocian formando una estructura suelta. Tanto una arcilla agregada o dispersa puede ser floculada o desfloculada. En el estado floculado se incrementa la asociación cara a borde entre las partículas. La consecuencia de este estado es una alta viscosidad y una pérdida de filtrado.¹³

Figura 13. Floculado



Fuente: Manual de educación continua Halliburton

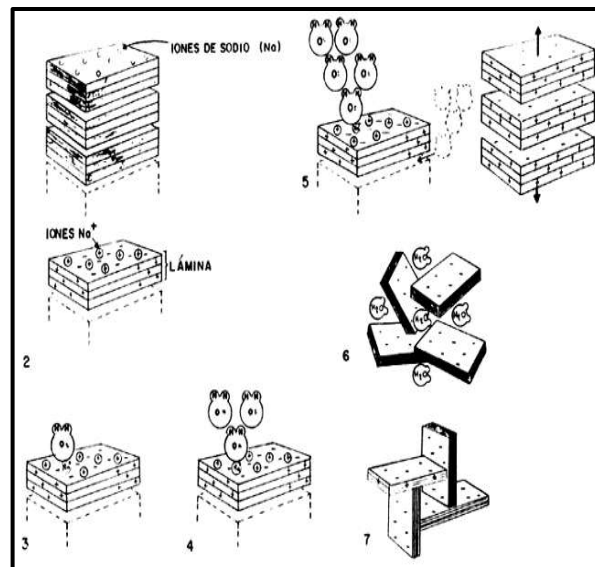
1.6.4 Estado hidratado: Las estructuras laminares de las arcillas y las moléculas de agua tienen una gran interacción, dada principalmente por fuerzas electrostáticas. Esta fuerza es resultado del carácter dipolar de la molécula de agua, es decir que se comporta como un pequeño imán, ya que se haya compuesta por un átomo de oxígeno (O²⁻) y dos de hidrógeno (H⁺); ya que los hidrógenos se encuentran en los extremos de la molécula, aparece a un lado una concentración de carga positiva y en el otro una carga más negativa.

¹³ÁLVARO FERNANDO CASTILLO PARRALES “Evaluación y optimización de diferentes fluidos de perforación aplicados para el campo Villano, Operado por AgipOil Ecuador” Guayaquil, Ecuador 2008.

Por eso las moléculas de agua se asocian rápidamente a la superficie de las láminas de arcilla, las cuales también presentan una carga neta negativa.

Forma secuencial del proceso de hidratación e hinchamiento de las estructuras de las arcillas.¹⁴

Figura 14. Etapas secuenciales en la interacción del agua con la arcilla



Fuente: Manual de Educación Continua – Halliburton

Etapa 1: Al inicio la arcilla se encuentra en estado deshidratado, son algunos iones de sodio (Na^+), potasio (K^+) o tal vez calcio (Ca^{2+}) absorbidos en el espacio interlamina.

Etapa 2: Desde el punto de vista electrostático, las cargas negativas en la arcilla se acumulan en las superficies planas de las laminillas, mientras que los bordes acumulan cargas positivas. Luego los iones sodio tienden a concentrarse sobre las caras planas.

¹⁴ÁLVARO FERNANDO CASTILLO PARRALES “Evaluación y optimización de diferentes fluidos de perforación aplicados para el campo Villano, Operado por AgipOil Ecuador” Guayaquil, Ecuador 2008.

Etapa 3: Al ponerse en contacto con la arcilla, las moléculas de agua, son atraídas fuertemente hacia las superficies planas debido a la presencia de los iones sodio cargados positivamente.

Nota: A escala molecular, las fuerzas electrostáticas son las más importantes.

Etapa 4: En este estado las moléculas de agua se hacen más dipolares atrayendo más moléculas de agua.

Etapa 5: La carga negativa en la superficie de las láminas se incrementa conforme las moléculas de agua se enlazan unas con otras al aumentar su polarización. Llega un momento en que la carga superficial es tal, que las láminas se repelen unas con otras, separándose, por lo que el espacio inter-laminar se expande, originando el hinchamiento característico de las arcillas.

Etapa 6: Las moléculas de agua continúan llenando el espacio interpaginar, neutralizando parcialmente las superficies expuestas y manteniendo las láminas apartadas unas de otras, hasta que el agua es eliminada mediante algún proceso de secado, lo cual origina una contracción del volumen de la hojuela.

Etapa 7: El equilibrio de la hidratación es alcanzado cuando termina la mezcla de la arcilla con el agua, dando como resultado una estructura interna hidratada que hace coincidir los bordes cargados positivamente con las caras cargadas negativamente, de modo que se forma una estructura de castillo de naipes, dando lugar a que las moléculas de agua entren y salgan libremente. Pero esta estructura puede derrumbarse mediante la agitación vigorosa de la suspensión, pero tiende a formarse de nuevo si la agitación termina. Este último efecto se da ya que las hojas mantienen la fuerte carga electrostática que las atrae.

En resumen, entre las características más importantes de las arcillas podemos mencionar:

- Las arcillas están formadas por cristales muy pequeños.
- Tienen capacidad de cambiar iones.
- Pueden alojar moléculas en el interior de su espacio inter-laminar.
- La superficie de las láminas presenta una actividad química considerable.
- Los cambios físicos de la estructura laminar, por ejemplo el hinchamiento, son reversibles.¹⁵

¹⁵ CASTILLO P. ALVARO. "Evaluación y optimización de diferentes fluidos de perforación aplicados para el campo Villano, Operado por AgipOil Ecuador", Guayaquil, Ecuador, 2008

2. ESTABILIDAD DEL POZO DURANTE LA PERFORACION DE SHALE

Los problemas de estabilidad de pozo ocurren cuando los esfuerzos cercanos al pozo exceden las resistencias de la roca, para prevenir el problema debe haber un balance entre los esfuerzos y la resistencia, el cual debe restaurarse o mantenerse durante la perforación, por medio de la adecuada formulación de fluidos de perforación, trayectorias del pozo, prácticas de perforación y viajes de tuberías. Se debe tener en cuenta que todas las formaciones a las profundidades que existen son sometidas a esfuerzos in situ.

El mantenimiento de la estabilidad del pozo es una de las consideraciones más críticas en cualquier operación de perforación; un hueco inestable reducirá el rendimiento de la perforación e incrementará los problemas durante los viajes de tubería y en el peor de los casos podría provocar la pérdida del pozo por colapso.

La inestabilidad de pozo puede ocurrir como un resultado de:

- Efectos mecánicos.
- Efectos químicos.
- Combinación (efectos mecánicos y químicos).

2.1.1 Efectos mecánicos. Los efectos mecánicos están usualmente relacionados a:

- Un inadecuado peso del lodo. (muy alto o muy bajo).
- Una inapropiada practica de perforación. (rata de perforación, efectos de vibración, torque y arrastre, practicas pobres y frecuencias de viajes).

2.1.2 Efectos químicos. Los efectos químicos están relacionados con la interacción entre el tipo de lodo y la formación que está siendo perforada, producto de:

- Un inapropiado tipo de lodo.
- Una inadecuada inhibición de la roca.

Estos pueden ocurrir en dos tipos de formaciones principalmente:

- Formaciones de shale.
- Formaciones de sal.

En los dos casos la interacción con el agua es la causa de inestabilidad. Así, la inestabilidad química es generalmente minimizada usando lodos base aceite. Ya que cuando los shales reaccionan con el agua pueden deformarse, hincharse y/o agrietarse.

Estos efectos pueden causar un gran rango de problemas operacionales tales como:

- Reducción de tamaño del hueco.
- Ensanchamiento del hueco.
- Atascamiento de la broca.
- Derrumbe de la formación.

Para minimizar estos problemas es importante:

- Caracterizar el tipo de shale en la etapa de planificación de un pozo.
- Usar un apropiado diseño del fluido de perforación.

El comportamiento de los shales durante su perforación es variado, y depende en gran parte del tipo de fluido de perforación y las técnicas que se utilicen; éstos no se presentan en un orden específico, pero sí algunos son el resultado de otros; por ello a continuación no proponemos un orden específico de ocurrencia, ni de prioridad a la hora de tener en cuenta, pero si tratamos de describir de una forma general cuales son los factores químicos y mecánicos que intervienen en la inestabilidad del pozo durante la perforación de rocas arcillosas.

2.2 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA INESTABILIDAD DEL HUECO

2.2.1 Difusión de Presión de Poro, Plasticidad y Anisotropía: La difusión de presión de poro es el efecto de las diferencias de presiones entre la presión de poro de la formación y la presión ejercida por la columna del fluido de perforación. La densidad óptima del lodo de perforación es un parámetro de diseño fundamental en la ingeniería de perforación, ya que de ésta depende la presión ejercida por el fluido. Lo más importante es impedir que haya un paso de fluidos del lodo a la formación y viceversa, ya que esto generaría contaminación del lodo e inestabilidad de la formación¹⁶.

La plasticidad es un comportamiento que sufren las rocas cuando se someten a altos niveles de esfuerzos, lo cual se manifiesta en una deformación irreversible antes del fallamiento.

Los shales se pueden dividir en plásticos y suaves, los primeros son más frágiles y antiguos, y están más propensos a sufrir fracturamiento por diferenciales de presión altos. Los derrumbes son provocados por varios motivos. El más importante está relacionado con la densidad del lodo de perforación, la cual usualmente se selecciona para satisfacer dos criterios: La presión del lodo no debe exceder la

¹⁶Santareli, F.J. and Stefano Carminati, EnricercheSpA. Do Shales Swell A Critical of Available Evidence. AGIP SpA, SPE/IADC 29421.1995.

presión de fracturamiento hidráulico (P_{max}) y la presión ejercida por el lodo (P_{mud}) debe ser más alta que la presión de colapso del pozo (P_{col})¹⁷. Usualmente P_{col} es tomada igual o un poco más grande que la presión de poro del fluido de formación (P_{for}).

Lodos de baja densidad pueden llevar a cedencias excesivas de la formación y al colapso del hueco, mientras que lodos de alta densidad provocan fracturas hidráulicas en las rocas. Cualquier peso del lodo que cumpla $P_{mud} > P_{for}$, conlleva a un gradiente de presión que obliga la entrada de filtrado hacia la formación, y si este filtrado es corrosivo provoca el deterioro de la cohesión de la roca. Es decir, un lodo de alto peso puede dar más soporte, pero puede también acelerar el desmoronamiento de la roca debido al deterioro de la cohesión de sus partículas.

Debido al alto contenido de arcillas en los shales y al hecho de que las arcillas estén compuestas por láminas además de su modo de sedimentación, los shales son considerados muy a menudo como rocas anisotrópicas. El término anisotropía comprende tanto la anisotropía de los esfuerzos in-situ, como la anisotropía de la roca. Un ejemplo es que en los shales la permeabilidad varía de acuerdo al ángulo en que el fluido entra en contacto con la roca y también el comportamiento ante los esfuerzos dependerá del ángulo de aplicación, aunque una cosa no se relaciona con la otra, esto simplemente ilustra el carácter anisotrópico del shale¹⁸

2.2.2 Efectos Capilares, Osmosis y Alteración Físico-química: El efecto capilar es ocasionado por el bajo radio del poro en los shales y el contenido de agua y materia orgánica o agua y gas en los poros. La presión capilar depende del radio del poro y de la mojabilidad de la roca, esto generalmente se genera cuando el shale

¹⁷Fam M.A; Dusseault M. B. Borehole Stability In Shales: A Physico-Chemical Perspective. Artículo SPE 47301. 1999. Pg. 461-463.

¹⁸Rodríguez R. Y Bravo M. Estudio De La Inestabilidad De Las Lutitas Durante La Perforación. Tesis de Grado. UIS.Pg 20-24. 1976.

es invadido por los fluidos de perforación lo cual promueve un diferencial de presión¹⁹.

La osmosis es el intercambio de iones entre la formación y los fluidos de perforación. Puede también definirse como el flujo de un solvente de una solución de baja concentración hacia una solución de concentración más alta, a través de una membrana que es permeable al solvente pero no lo es al soluto²⁰. Esto causa una presión sobre la membrana permeable que se conoce como presión osmótica

Las interacciones de fluidos de completamiento y perforación con formaciones arcillosas han sido reconocidas por largo tiempo como un factor principal en el costo del hallazgo y producción de petróleo y gas. En la mayoría de los casos los problemas pueden evitarse mediante el uso de lodos base aceite. La excelente estabilidad de los shales provista por los fluidos de base aceite ha sido atribuida en parte al establecimiento de una membrana semipermeable ideal en la interfase lodo/shale. La membrana tiene orificios lo suficientemente amplias para permitir el paso de las moléculas de agua, pero lo suficientemente pequeñas para prevenir el paso de iones disueltos y moléculas. Esto tiene como resultado el desarrollo de un diferencial de presión osmótica que depende de la relación de la actividad del agua (tendencia a la fuga) del lodo (adf) con la del fluido de poro de los shales (as). La transferencia de agua se presenta de mayor actividad (menor concentración de iones disueltos o moléculas) a menor actividad. Solutos, como el cloruro de calcio, pueden por lo tanto añadirse a la fase acuosa de la emulsión base aceite para reducir la actividad del agua y desarrollar la suficiente fuerza osmótica para prevenir la hidratación de los shales o extraer agua de los shales.

¹⁹Fam M.A; Dusseault M. B. Borehole Stability In Shales: A Physico-Chemical Perspective. Artículo SPE 47301. 1999. Pg. 461-463.

²⁰Chenevert Martin E. and Vincent Pernot. Control Of Shale Swelling Pressures Using Water-Base Muds. The University of Texas at Austin.SPE 49263. 1998.

En años recientes se ha postulado que los lodos base agua forman una membrana semipermeable no ideal (filtrable) en la interfase de los shales. Además de la transferencia de agua, también se presenta transferencia limitada de solutos.

Los cambios en la concentración iónica del fluido de poro pueden influenciar en algunas de las propiedades del shale por medio de cambios en la doble laminación (Efecto osmótico)²¹.

En la industria petrolera, se considera preferible minimizar el flujo de líquidos hacia dentro de los shales y tratar de promover en mínima proporción el flujo de fluido desde el shale hacia dentro del fluido de perforación. Esto significa que el lodo debe tener una actividad del agua menor que la del fluido de poro del shale, lo cual puede lograrse adicionando sales (por ejemplo NaCl, KCl y CaCl₂) a el lodo de perforación para disminuir su actividad.

Las alteraciones fisicoquímicas están sujetas al desequilibrio iónico de la formación, el cual puede ser ocasionado por la difusión de presión de poro y por el fenómeno de la osmosis; gracias a esto se pueden originar reacciones químicas y la disolución de la matriz y/o el cemento de la roca; esto puede ocasionar inestabilidad de la roca²².

2.2.3 Efecto de la baja permeabilidad del shale sobre la estabilidad del hueco:

Las rocas arcillosas se caracterizan por tener alta porosidad pero baja permeabilidad, lo cual es función de su empaquetamiento o estructura preferentemente laminar, esta última se relaciona con la composición mineral y la diagénesis que ha sufrido la roca y su posterior litificación, lo cual influye en el momento de perforar arcillas, ya que el lodo de perforación al ponerse en contacto

²¹Fam M.A; Dusseault M. B. Borehole Stability In Shales: A Physico-Chemical Perspective. Artículo SPE 47301. 1999. Pg. 461-463.

²²Van Oort, E., Hale. Transport In Shales And The Design Of Improved Water-Based Shale Drilling Fluids. A.H. SPE 28309.

con la arcilla genera una interacción entre la superficie del mineral de arcilla en los poros de la roca y las moléculas de agua, que reacciona directamente con la estructura atómica generando cambios físico-químicos que generan los problemáticos hinchamientos y derrumbes. Los valores de porosidad y permeabilidad varían al pasar de una capa arcillosa a otra en formaciones ínterestratificadas²³.

2.2.4 Efecto del peso del lodo de perforación en la estabilidad del shale: Los problemas ocasionados por el aumento repentino del peso del lodo al ser contaminado por fragmentos de roca de las formaciones perforadas o por malos cálculos del perforador, son los mismos explicados por la difusión de presiones. Un aumento en el peso del lodo implica un aumento en la presión del fluido de perforación sobre las paredes del pozo, lo cual ocasionaría invasión de los fluidos en la roca o en casos más críticos fracturamiento de la formación²⁴.

2.2.5 Hinchamiento y Reducción del Hueco: El hinchamiento es la respuesta de la roca arcillosa al ser hidratada, lo cual genera un aumento en su volumen y un cambio en los esfuerzos en las paredes del pozo. El fenómeno de hinchamiento es el resultado de la interacción fluido de perforación– roca, el cual se genera por fenómenos osmóticos, como resultado de diferenciales de presión, o por una mala impermeabilización de las paredes del pozo.

Cuando las lutitas están en contacto con lodos base agua, Se piensa que dos mecanismos son los responsables de los hinchamientos de los shales: el hinchamiento cristalino (hidratación en superficie) e hinchamiento osmótico, el hinchamiento cristalino es exhibido por todas las arcillas. El agua es fuertemente sostenida por la celda de cristal, pero el incremento en el volumen total es

²³Bole, G.M.; Wong S.W. Borehole Stability InShales. Artículo SPE 24975. 1974.

²⁴Rodríguez R. Y Bravo M. Estudio De La Inestabilidad De Las Lutitas Durante La Perforación. Tesis de Grado. UIS.Pg 20-24. 1976.

relativamente pequeño. El hinchamiento osmótico ocurre solamente en ciertas arcillas del grupo de las esméctitas (en especial de las montmorillonita sódica), estas causan grandes incrementos en los volúmenes totales, pero el agua es mantenida ligeramente. El hinchamiento sustancial de los minerales de las arcillas podría eventualmente conducir a la dispersión de los finos de la formación en el lodo. Los finos altamente reactivos, son rápidamente conducidos a tamaño coloidal (menor a 2 μm), incrementando los problemas de diámetro del pozo, y haciendo difícil el poder mantener buenas propiedades del lodo. Estos finos contaminan el lodo por el intercambio de sus propiedades y de su reología (peso del lodo, etc.). Consecuentemente el lodo debe ser diluido (con agua) o se le deben adicionar floculantes, facilitando la remoción de partículas agregadas. De lo contrario se le podría adicionar algunos químicos, pero esto eventualmente resulta en un incremento significativo de los costos del lodo.

Usualmente, el hinchamiento está acompañado por una reducción en la resistencia, en gran parte debido a que el hinchamiento causa micro-deformaciones diferenciales que rompen los enlaces minerales cohesivos entre las láminas de arcillas. Además agrega que el cálculo de la densidad óptima del lodo de perforación es un parámetro de diseño fundamental en la ingeniería de perforación para evitar estas microdeformaciones²⁵.

2.2.6 Derrumbes, Pegas y “Entrampamiento” de la Broca: Los derrumbes y pegas son generalmente ocasionados por la hidratación o fracturamiento de los shales, los cuales caen de las paredes del pozo al anular, generando serios problemas como alteración de las propiedades reológicas del lodo y/o grandes acumulaciones en el anular, lo cual disminuye las ratas de perforación y aumentan la presión de fondo de pozo.

²⁵Fam M.A; Dusseault M. B. Borehole Stability In Shales: A Physico-Chemical Perspective. Artículo SPE 47301. 1999. Pg. 461-463.

También el flujo del fluido de perforación a través de la tubería hasta la superficie algunas veces se detiene, bien sea debido a un problema o con el fin de extraer la tubería del hoyo para poder cambiar una broca. Cuando se detiene la perforación, los recortes suspendidos en el fluido pueden caer al fondo del pozo, atascando la broca.

Los ripios producidos de la perforación de formaciones hidratables se adhieren a la broca y la hacen temporalmente inútil. Esto se caracteriza generalmente por una disminución en el torque de la rotaria, reducción de la rata de penetración y a menudo un incremento en la presión de la tubería²⁶.

Entre los problemas que causan los ripios acumulados en el fondo del pozo, el bit-balling (entrampamiento) ocurre cuando se perforan formaciones suaves con lodos base agua²⁷. Algunas formaciones incluyendo los shales reaccionan con el agua del fluido de perforación, hinchándolos considerablemente y posteriormente causando pegas. El contenido de montmorillonita en los shales es el factor más importante con respecto a hidratación y al bit-balling. El orden de tendencias de derrumbes, o sensibilidad al intercambio en su base de menor a mayor es el siguiente: Caolinita<Illita< Mezcla de arcillas<Montmorillonita.

Una solución al problema del bit-balling es que la eficiencia de perforación puede ser mejorada gracias a la expulsión del lodo de perforación a alta velocidad a través de las boquillas de la broca, moviendo los conos de la broca, librando de cortes la broca, evitando el desgaste de la misma y la disminución que se presentaría en la rata de penetración debido al "re-molido" de los cortes, también, tal fuerza hidráulica

²⁶Cress, L.A. "How and When To Run a PDC Bit in the Upper Texas Gulf Coast-An Operator's Viewpoint," SPE Paper No. 11388 presented at the IADC/SPE 1983 Drilling Conference, New Orleans, LA, February 1983.

²⁷Roy S. and Cooper G.A. Prevention of Bit Balling in Shales: Some Preliminary Results. Artículo SPE 23870. 1993.

es usada para accionar motores de fondo que hacen rotar la broca sin tener que rotar toda la sarta, práctica esencial en perforaciones direccionales²⁸.

2.2.7 Deshidratación y Modificación de las Propiedades Reológicas del lodo. Los shales al igual que pueden sufrir hidratación también se pueden deshidratar, esto se genera al haber un paso de fluidos de la formación hacia el pozo, y es consecuencia del diferencial de presión o por fenómenos osmóticos. Como consecuencia los fluidos de perforación son afectados, cambiando sus propiedades reológicas como resistencia de gel o tixotropía, además la deshidratación provoca el debilitamiento de la roca ocasionando derrumbes.

²⁸Brandon, B.D. et al. "Development of a New IADC Fixed Cutter Drill Bit Classification System," SPE Paper No. 23940 presented at the 1992 IADC/SPE Drilling Conference, New Orleans, LA, February 1992

3. PRUEBAS DE LABORATORIO

Las propiedades químicas y físicas de un lodo de perforación deben controlarse debidamente para asegurar un comportamiento adecuado de éste durante las operaciones de perforación. Las pruebas son un ejemplo o un prototipo a escala menor con el fin de estudiar los comportamientos y resultados, sacando conclusiones acerca de lo que podría acontecer.

3.1 MEDICIONES DE FILTRACIÓN DE REVOQUE DE BAJA PRESIÓN, BAJA TEMPERATURA Y ALTA PRESIÓN Y ALTA TEMPERATURA (HPHT).

Para que ocurra una filtración es necesario tener tres aspectos principales, la existencia de un fluido líquido, un medio permeable y una diferencia de presiones, condiciones que se encuentran durante la perforación de pozos. Durante este proceso se encontrarán filtrados dinámicos y estáticos, los cuales se pueden analizar para caracterizar el desempeño y/o comportamiento del fluido de perforación.

3.1.1 Prueba de baja presión, baja temperatura. El procedimiento de filtración de API es realizado durante 30 minutos a temperatura ambiente con una presión diferencial de 100 psi a través del papel filtro. Las variaciones de temperatura afectan esta prueba; por lo tanto se recomienda realizar esta prueba cada vez a más o menos la misma temperatura. En la gama de temperaturas de 70 a 140°F, el volumen de filtrado aumentará en un 50% o aproximadamente 10% por cada aumento de temperatura de 15°. El volumen de filtrado de API es indicado por los centímetros cúbicos (cm³) de filtrado captado después de 30 minutos. El espesor del revoque de API que se ha depositado durante la prueba de filtración de API está

indicado en 1/32 de pulgada. En algunas regiones, los operadores requieren medidas métricas, y el espesor del revoque está indicado en milímetros (mm).²⁹

Figura 15. Prueba de baja presión, baja temperatura



Fuente: Autor

3.1.2 Prueba de alta presión, alta temperatura. La prueba API de alta presión, alta temperatura (ATPT) se realiza generalmente a una temperatura de 300°F (150 °C) y una presión de 500 psi de diferencial para lodos base aceite, el ensayo APAT se ejecuta a presiones y temperaturas que simulan las condiciones de yacimiento. El procedimiento de la prueba de filtrado HT-HP se subdivide en temperaturas de prueba superiores a 300°F e inferiores a 300°F.

²⁹MI-SWACO, Manual de fluidos de perforación.

Figura 16. Equipo prueba Alta Presión, Alta Temperatura (HPHT)



Fuente: Autor

3.1.2.1 Procedimiento para temperaturas inferiores a 300°F: Coloque el termómetro en el orificio de la camisa y precaliente a 6°C (10°F) por encima de la temperatura deseada, ajuste el termostato para mantener la temperatura deseada.

Mezcle la muestra del fluido de perforación por 10 minutos con un mezclador de alta velocidad. Cierre la válvula de la celda del fluido de perforación y deposite la muestra de fluido de perforación en la celda de fluido de perforación, siendo cuidadoso de no llenar ceca de 1,5 cm (0,6 in) del tope para permitir la expansión. Instale el papel filtro.

Complete el montaje de la celda y, con las válvulas de fondo y tope cerradas, coloque la celda en la camisa de calentamiento. Transfiera el termómetro al orificio en la celda de fluido de perforación.

Conecte celda de colectora de alta presión a la válvula de fondo y asegure en su lugar.

Conecte a la fuente reguladora de presión la válvula de tope y la celda de colectora y asegure en su lugar.

Manteniendo las válvulas cerradas, ajuste los reguladores de fondo y tope a 690Kpa (100 psi). Abra la válvula de tope aplicando 690Kpa (100psi) al fluido de perforación. Mantenga esta presión por una hora. Si la temperatura de la celda del fluido de perforación no ha alcanzado la temperatura de prueba después de una hora, la prueba deberá ser terminada y el equipo reparado.

Después de una hora, incremente la presión en la unidad de presión del tope hasta 4140 Kpa (600 psi) y abra la válvula de fondo para empezar la filtración. Colecte el filtrado por 30 min, manteniendo la temperatura seleccionada entre $\pm 3^{\circ}\text{C}$ ($\pm 5^{\circ}\text{F}$), si la contra presión aumenta por encima de 690 Kpa (100 psi) durante la prueba, cuidadosamente reduzca la presión mediante la extracción de una porción del filtrado. Anote el volumen total colectado, temperatura, presión y tiempo.

Corrija el volumen de filtrado a área de filtrado de 45,8 cm² (7,1 in²), por ejemplo, si el área de filtrado es 22,6 cm² (3,5 in²), doble el volumen del filtrado reportado³⁰.

Al final de la prueba, cierre las válvulas de tope y de fondo en la celda de fluido de perforación y despresurice los reguladores.

Retire la celda de la camisa de calentamiento, estando primero seguro de que las válvulas de fondo y tope están herméticamente cerradas y toda la presión de los reguladores drenada, tenga extremo cuidado al guardar el papel filtro, ponga la celda en posición vertical, abra la válvula para denar la presión contenida en la

³⁰ NORMA API 13B-I

celda y abra, deseche el fluido de perforación, y retire la torta de filtrado. Lave la torta de filtrado en el papel con un suave chorro de agua.

Mida y reporte el grosor de la torta de filtrado, al milímetro más cercano (1/32”).

A pesar de que las descripciones son subjetivas, tales notas como la dureza, suavidad, resistencia, elasticidad, firmeza, entre otras, pueden arrojar una importante información acerca de las cualidades de la torta.³¹

3.2 PERMEABILITY PLUGGING TEST (PPT)

El equipo de la prueba de permeabilidad para “plugs” es una modificación de la celda de filtrado APAT (alta presión, alta temperatura) que es usado para determinar la pérdida estática de fluidos bajo condiciones de fondo de pozo (a temperatura de fondo y una presión diferencial).

Este filtrado de los fluidos de perforación puede ser medido y los aditivos pueden ser seleccionados para minimizar esta filtración, llevando a una menor probabilidad de pega diferencial.³²

La prueba PPT usa disco de permeabilidad selectiva (Aloxita) que miden la pérdida de fluido a temperatura y presión de fondo de pozo para predecir el rendimiento de los fluidos de perforación bajo dichas condiciones. Usando la prueba PPT, los efectos de un alto diferencial de presión son fácilmente aparentes mediante la medición de: “*sputloss*”, pérdida total del fluido y grosor de torta. En la prueba PPT estas propiedades son substancialmente diferentes a aquellas observadas en las celdas de filtrado ATPT con el papel filtro³³.

³¹ NORMA API 13B-I

³²BP & Chevron Texaco Drilling Fluids Manual

³³Ibid.

Durante la prueba PPT, es importante tener en cuenta que el tipo de lodo y el tamaño de poro del disco usado en la prueba influenciarán el resultado. El disco estará destinado a simular la porosidad de las formaciones encontradas durante la perforación y este tan solo podrá ser usado una sola vez. Teniendo en cuenta que las tendencias son más importantes para monitorear comportamientos que los valores absolutos. Resultados de los productos corridos en los diferentes tipos de lodo no deben ser comparados.

Un importante parámetro a considerar es la relación del tamaño de las partículas en el lodo y el tamaño de poro de la roca. Generalmente cuando la relación entre el tamaño de partícula y de poro es menor a $1/6$, todo el lodo pasará por la formación y el puenteo no ocurrirá, a una relación de $1/2$ o mayores se formará un torta de filtrado y en valores intermedios se observará una invasión con puenteo (spurt) hasta que la relación efectiva de puenteo sea mayor a $1/2$ y la torta de filtrado se forme. Ningún control de pérdida de fluido puede ser obtenido hasta que la torta de filtrado haya sido formada³⁴.

El Equipo PPT deberá ser usado en el laboratorio para evaluar lodos formulados o sistemas de lodos presentados en campo, el equipo es también portátil y puede ser usado en el pozo para evaluar el sistema de lodos y para probar la efectividad del puenteo de varios aditivos a condiciones de presión y temperatura de fondo de pozo, información de la prueba PPT es especialmente útil en pozos críticos (arenas depletadas y pozos de alto ángulo) un diagrama del equipo PPT es mostrado en la figura 17 y el procedimiento de la prueba es el siguiente(las especificaciones del equipo suministradas por el fabricante se deben tener en cuenta antes de realizar cualquier prueba).³⁵

³⁴BP & Chevron Texaco Drilling Fluids Manual

³⁵Ibid.

Figura 17. Permeability Plugging Test (PPT)



Fuente: Autor

Aplique una capa fina de grasa alrededor de los o-rings del pistón flotante, asegure el pistón flotante en la llave T-bar e instale el pistón en el fondo de la celda, mueva el pistón hacia arriba y hacia abajo para asegurarse que este se mueve libremente, posicione el pistón hasta que esté cerca del borde del fondo de la celda y desatornillelo de la llave.

Instale la tapa hidráulica de fondo sobre el fondo de la celda, posicione verticalmente la celda seguidamente llénela con 350 ml de lodo.

Remoje el disco de Aloxita por al menos 5 minutos en agua fresca antes de ser probado un lodo base agua, coloque el disco de Aloxita en una solución apropiada, para después ser llevado a la celda de vacío y evacúelo por 1 hora.

Figura 18. Disco de Aloxita en remojo



Fuente: Autor

Instale la tapa superior con la válvula en la celda. Cierre la válvula e instale la celda en la camisa de calentamiento. Baje la celda lentamente hasta que toque fondo, luego rote en el sentido de las manecillas del reloj hasta que se asegure.

Instale el termómetro en el orificio pequeño ubicado en el tope de la celda (figura 19), coloque el filtrado en el recipiente sobre el tope de la válvula. Asegúrese que los O-rings pequeños estén en buenas condiciones. Asegure el recipiente instalando la llave de seguridad "Safety Key".

Figura 19. Termómetro en orificio de celda, Prueba PPT



Fuente: Autor

Instale el equipo de presión sobre el recipiente y asegure con la llave de seguridad. Abra la válvula directamente sobre el tope de la celda. Asegúrese que las otras válvulas estén cerradas sobre el recipiente y el equipo de presión.

Aplique la presión y temperatura deseada a la celda usando el equipo de presión. Una vez la presión es aplicada, cierre la válvula sobre la celda para mantener la presión.

Una vez la presión deseada es aplicada, abra la válvula de la celda y recoja el lodo y/o el filtrado en un cilindro graduado. Continúe recolectando el líquido hasta que solo salga aire. Esto debe ser registrado como el *SpurtLoss*.

Cierre la válvula en el recipiente y mantenga la presión deseada sobre la celda con la bombas hidráulica. La presión hidráulica debe ser aplicada sobre la celda para mantener la presión durante 30 minutos. Monitoree el flujo mediante la despresurización de la celda cada 5 minutos y registre el volumen.

Después de 30 minutos, registre el total de la cantidad de líquido recuperada (excluya el *SpurtLoss*). Libere la presión de la bomba hidráulica y cierre la válvula de tope. Retire el conector de la celda a la bomba.

La pérdida total de fluido es calculada de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} & \textit{Perida Total de fluido} \\ & = \left(\textit{suprt loss (cm}^3\text{)} \right) + ((2) \\ & \quad * (30 \textit{ minutos de fluido recuperado})) \end{aligned}$$

Despresurice y remueva el equipo de presión y repita el mismo procedimiento para el recipiente. Remueva el recipiente del tope de la celda y limpie. Apague la camisa

de calentamiento. Permita que la celda se enfríe removiéndola de la camisa de calentamiento o enfriándola con agua (no es recomendable).

Abra la válvula de tope lentamente removiendo la presión atrapada. Repita este procedimiento varias veces para asegurarse que la presión ha sido removida de la celda.

Remueva la tapa del tope de la celda y gírela al revés. Retire la tapa hidráulica de fondo para exponer el pistón flotante. Atornille la llave T-bar en el pistón y empuje suavemente hacia abajo para forzar al lodo y al disco a salir por el extremo opuesto de la celda.

Recupere el disco de Aloxita y la torta de filtrado, lave la torta suavemente con agua fresca y mida el grosor de la torta.

Desarme completamente la celda y limpie el equipo³⁶.

3.3 HINCHAMIENTO LINEAL.

La arcilla es un término que es usado comúnmente para describir sedimentos suelos o rocas compuestos de partículas minerales y materia orgánica de granos extremadamente finos. Se consideran como una parte activa del sistema ya que pueden estas pueden entrar como un contaminante o ser añadida intencionalmente, por lo cual su comportamiento debe ser estudiado cuidadosamente.³⁷

El procedimiento para determinar el hinchamiento lineal determina la tendencia de hinchamiento de varios tipos de esquistos en diferentes tipos de fluidos

³⁶BP & Chevron Texaco Drilling Fluids Manual

³⁷Manual de Ingeniería de Fluidos de Perforación MI Swaco

3.3.1 Procedimiento general. Se debe secar la muestra de arcilla que se desea analizar, para ello se debe moler para luego ser tamizada usan malla #200, la muestra que pasa a través de esta malla se debe recoger y pesar 50 gramos de esta.

Los 50 gramos de la muestra se mezclan con el 5% de agua destilada (2.5 ml) y se tamizan por la malla #100.

Enseguida se deben pesar 20.5 gramos y colocar en la celda del compactador, de esta manera se compacta la muestra a una presión de 1000 psi durante 1 hora y 30 minutos (mantener la presión por medio de la bomba hidráulica).

Figura 20. Compactador de arcillas



Fuente: Autor

Al finalizar la hora y media se debe revisar que la presión del compactador sea cero y se puede retirar la pastilla que se ha formado, para llevarla en un desecador por 24 horas.

Al finalizar las 24 horas se debe pesar la pastilla y medir su longitud.

Armar el equipo donde se va a realizar la prueba de hinchamiento lineal con las pastillas de arcilla identificadas en cada sensor.

Figura 21. Equipo para prueba de Hinchamiento Lineal.



Fuente: Autor

Ingresar la información necesaria al software en el computador, como número del sensor, longitud de la pastilla y tiempo entre cada medida (condiciones de la prueba).

Finalmente se agrega el fluido de perforación preparado previamente.

Los datos se empiezan a generar a través de la gráfica que genera el programa a lo largo del tiempo.

Los resultados del ensayo de hinchamiento lineal son graficados para mostrar el porcentaje de hinchamiento sobre un tiempo de hinchamiento en minutos. Los resultados del ensayo LSM demuestran los efectos de inhibición de los diversos fluidos de perforación sobre el hinchamiento de la lutita.

3.3.2 Medidor de hinchamiento lineal

Lineal Swell Meter³⁸:

El sistema de múltiples canales del Fann Linear Swell Meter presenta un sistema electrónico automatizado LVDT para la medición del hinchamiento, con múltiples cabezas de medición que permiten hasta cuatro núcleos, para ser analizados al mismo tiempo. Los datos de estas mediciones son procesados por un programa, el cual es capaz de procesar los datos de las múltiples cabezas de medición, reuniendo y mejorando los datos de registros/gráficos.

Una muestra de núcleo puede ser preparada de los cortes de perforación que han sido procesados y luego reconstituidos, usando una unidad de compactación hidráulica. Durante una prueba de hinchamiento, la muestra de lutita, es lateralmente confinada por una manga, para minimizar el hinchamiento radial. Esta manga se extiende ligeramente por encima del tope del núcleo y también encaja alrededor de la base en la parte inferior de la muestra.

El software está previsto para que el computador controle el LSM. Las características del software incluyen tiempo real de registro de datos y archivo de datos actualizados. Constantes, detalles de configuración, ubicación de archivos de datos, y otra información están cargados a través de los menús. Los datos de entrada de la prueba normalmente constan de la longitud de la muestra, frecuencia de registro, número de canal, y una descripción de la prueba de hinchamiento. El operador puede iniciar y parar cualquiera de las cuatro pruebas de hinchamiento simultáneas a cualquier hora o en cualquier secuencia. La temperatura ambiente de las muestras de lutita para la prueba del LSM puede alterar significativamente la

³⁸Linear Swell Meter, Instruction Manual.

reactividad de la lutita. Si se aumenta la temperatura, incrementará la reactividad y reducirá el tiempo de la prueba de hinchamiento.

La reactividad del hinchamiento en muestras de lutita reconstituidas para una prueba de hinchamiento no solo depende del tipo de lutita usada, también de la presión y duración de la compactación y el contenido de humedad inicial.

Preparación de la muestra:

Las muestras de lutitas para estas pruebas son compactadas (reconstituidas) utilizando dos celdas de compactación hidráulicas. La lutita pulverizada es colocada en un recipiente cilíndrico, luego se aplica una presión de compactación y se mantiene mientras ocurre la compactación. Las pruebas indican que una presión constante de 10000 psi aplicada por una hora y 30 minutos resulta en plugs de núcleos de lutitas. Normalmente, aproximadamente 20 gramos de material producirá un plug cilíndrico 1-1/8 pulgadas de diámetro por aproximadamente 5/8 pulgada en altura. La cantidad de materiales requeridos y la longitud del modelo variarán con el tipo de lutita.

Preparación de muestras de núcleos reconstruidos:

Se debe determinar el tipo de lutita a ser usada para esta prueba, estas pueden ser cortes de perforación o muestras de núcleo de un pozo donde el hinchamiento de las arcillas es un problema, o pueden ser muestras de otras fuentes. Se debe obtener suficiente muestra para reconstruir el número de núcleos de lutitas requeridos, ya que se necesita alrededor de 30 gramos para cada muestra de núcleo.

- Si la muestra de lutita se obtiene mediante el uso de cortes de perforación se deben recopilar estos cortes desde la zaranda. Estos cortes están usualmente

contaminados con fluido de perforación y han sido expuestos a la atmosfera por un periodo de tiempo.

Se deben lavar los cortes con agua en una malla #60. Si las muestras de cortes parecen muy dispersas, utilizar agua de mar sintética o isopropanol para lavarlas. Lava los cortes aceitosos primero con xileno y luego con isopropanol.

Cuando se tienen en condiciones los cortes, se deben secar en un horno a 220°F por 4 horas.

Almacenar los cortes limpios en un desecador al vacío que contenga una solución de salmuera de cloruro de calcio saturado, la cual mantendrá humedad constante de 29.5%.

- Si la muestra de lutita es obtenida de un núcleo u otras fuentes, no necesitara ser limpiada y puede ser almacenada en un desecador al vacío como se describió para una muestra proveniente de cortes de perforación.

Obtener alrededor de 25 gramos de material de la muestra de lutita del desecador (se recomienda un poco más porque hay material que queda en la mallas).

Moler la muestra para pasarla a través de una malla #200, hasta obtener 25 gramos.

Compactación de la lutita³⁹:

Ensamblar la tapa de la cámara del núcleo sobre la cámara del núcleo.

³⁹Linear Swell Meter, Instruction Manual.

Colocar el tope del núcleo en la tapa, luego colocar el disco espaciador de acrílico en la parte superior del tope del núcleo.

Verter 20 gramos de la muestra de polvo de lutita preparada en la celda. Colocar el segundo disco espaciador acrílico en la parte superior de la muestra y presionar firmemente. Fijar la cama de núcleo acoplándolo al cilindro de la unidad de compactación.

Cerrar la válvula de alivio de presión de la bomba hidráulica y abrir el grupo de válvulas para que la celda sea presurizada.

Para la operación de la bomba hidráulica, aplicar presión hidráulica hasta que la presión alcance 10000 psi sobre la muestra. La presión caerá al comienzo de la compactación y debe ser mantenida operando la bomba de mano para incrementar la presión a 10000 psi. En intervalos de 10 minutos, reajustar la presión a 10000 psi hasta que se mantenga constante. Cerrar el grupo de válvulas para evitar una posible purga a la bomba.

Mantener la presión por una hora y media. Reajustar la presión en intervalos de 10 minutos si es necesario. Liberar la presión abriendo primero el grupo de válvulas y luego la válvula de descarga de la bomba de mano.

Para la extracción de la muestra, atornillar la herramienta del extractor en la parte inferior de la tapa de la celda y apretar suficientemente para forzar el núcleo ligeramente al alza y liberar la presión sobre la tapa de la celda.

Remover la tapa del fondo de la celda.

Cerrar la válvula de liberación y abrir el grupo de válvulas para que la celda sea desmontada. Inmediatamente pesar el núcleo reconstituido y colocarlo en el

deseCADador al vacío, teniendo una solución de salmuera de cloruro de calcio en él para mantener una humedad de 29.5%.

Aplicar vacío al desecador por 5 minutos. Permitir al núcleo equilibrar en el desecador un mínimo de 24 horas antes de usar para la prueba de hinchamiento.

3.3.3 Medición del hinchamiento lineal⁴⁰:

1. Instalación del núcleo de lutita en el LSM:

Tomar un núcleo reconstituido del desecador, pesarlo y medir su longitud en pulgadas con un calibrador (registrar datos).

Medir dureza del núcleo con un durómetro tipo D (Modelo 307L). Anotar la dureza en la hoja de datos.

Apilar un disco espaciador de acrílico (1.125 pulgadas de diámetro y 0.19 pulgadas de espesor), la muestra de núcleo, y el teflón de la tapa, envolver el núcleo alrededor de la pila y asegurar y colocar en el émbolo deslizando el ensamblaje (disco, muestra y teflón de la tapa) hasta el émbolo y mirar que encaje en el lugar.

Colocar un plato de evaporación sobre la mesa del LSM bajo la cabeza de medición a ser usada. Bajar esta cabeza de medición presionando y manteniendo el interruptor para el canal adecuado en la posición de abajo y al mismo tiempo presionando la liberación en el extremo derecho del LSM. Seguir bajando hasta que el ensamblaje del núcleo toque el fondo del disco de evaporación como indica la luz roja en la cabeza iluminada.

⁴⁰Linear Swell Meter, Instruction Manual.

2. Encender el computador e iniciar el programa LSM⁴¹:

Seguir las instrucciones en pantalla y entrar el número del canal y la longitud del núcleo (pulgadas).

Bajar o subir la cabeza de medición cuando se le pida, presionando y manteniendo el interruptor oscilante del canal apropiado y el interruptor rojo “Liberación de posición” en el extremo derecho del LSM al mismo tiempo hasta que la barra roja en el monitor este en el centro de la línea del rango de hinchamiento.

Entrar algunos datos que el programa necesita como: frecuencia de registro descripción de la prueba, y condiciones de la prueba. La frecuencia de registro (minutos) puede ajustarse a cualquier número entero para indicar el tiempo de adquisición de datos en intervalos de minutos. Al comienzo de la prueba la frecuencia de registro es normalmente establecida en uno o dos minutos para la primera media hora. Luego se cambia a un intervalo más largo.

Permitir al computador grabar el primer dato.

Verter el fluido de la prueba para ser probado dentro del disco de evaporación. Llenar el disco al nivel de la manija del núcleo.

La prueba es usualmente corrida hasta que la curva de hinchamiento alcanza una línea horizontal constante, indicando muy poco o ningún hinchamiento adicional.

⁴¹Linear Swell Meter, Instruction Manual.

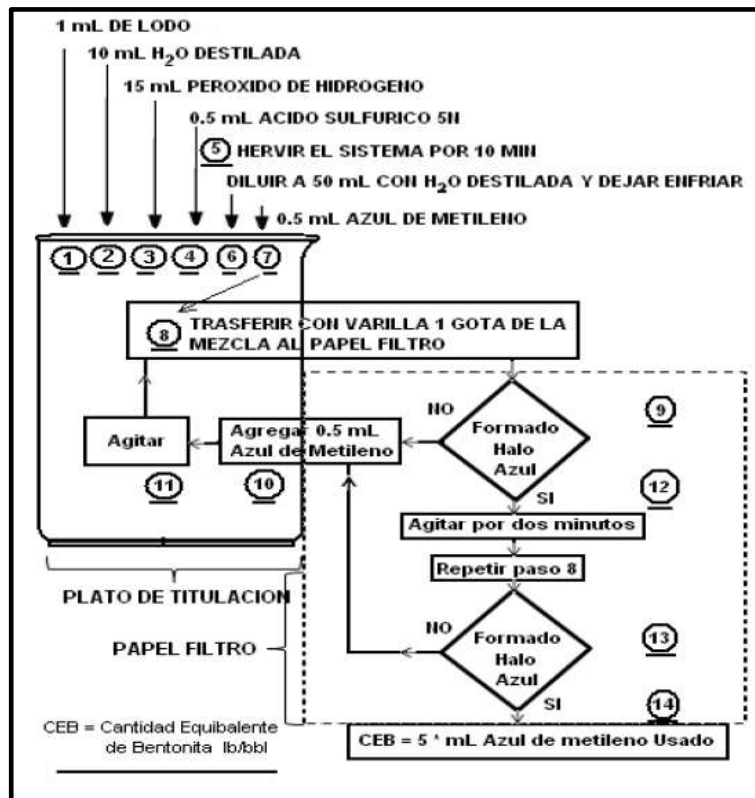
MBT (Prueba de azul de metileno).

El propósito de la prueba es determinar la capacidad de intercambio de cationes y la concentración equivalente de bentonita de un fluido de perforación por medio de la titulación con la solución de azul de metileno.

El equipo requerido está compuesto de lo siguiente:

- Frasco Erlenmeyer de 250-mL
- Jeringa 10-mL (sin aguja).
- Dos pipetas de 1-mL
- Cilindro graduado de 25-mL.
- Varilla agitadora,
- Calentador eléctrico
- Agua destilada.
- Solución de azul de metileno (3.74 g/L; 1 mL =0.01 meq).
- Ácido Sulfúrico 5N
- Peróxido de Hidrogeno 3% sln

Figura 22. Procedimiento para la determinación de MBT



Autor: Álvaro Castillo P

El procedimiento es el siguiente:

1. Recoger un gramo de sólidos secos pasados por malla #200.
2. Agregar 25 mL de agua destilada en el frasco Erlenmeyer.
3. Agregar a la mezcla 15 mL de la solución de peróxido de hidrógeno y 1 mL de la solución de ácido sulfúrico.
4. Colocar el frasco sobre el calentador hasta que hierva la mezcla a fuego lento por 10 min.

5. Retirar el frasco del calentador y diluir la mezcla a 50 mL con agua destilada. Dejar enfriar la mezcla.
6. Agregar a la mezcla 0.5 mL de solución de azul de metileno.
7. Agitar el contenido del frasco Erlenmeyer durante unos 20 segundos.
8. Transferir con la varilla agitadora una gota de la mezcla al papel filtro.

Si la gota...	Entonces...
Forma un halo azul	Ir al paso 9
No forma el halo azul	Repetir los pasos 6 al 8

9. Agitar la mezcla durante 2 minutos.
10. Transferir con la varilla agitadora una gota de la mezcla al papel filtro.

Si la gota...	Entonces...
Forma un halo azul	Este es el punto final
No forma el halo azul	Repetir los pasos 6 al 8

11. Registrar el volumen de solución de azul de metileno usada para llegar al punto final.
12. Calcular el CEC (capacidad de intercambio de cationes) del azul de metileno:

$$CEC = \frac{\text{ml sln de azul de metileno}}{\text{gramos de muestra}} \left(\frac{\text{meq}}{100\text{gr}} \right)$$

4. DESCRIPCIÓN DE LOS FLUIDOS DE PERFORACION BASE AGUA EMPLEADOS EN EL ESTUDIO

En este capítulo se describirán las principales características físicas y químicas de los fluidos de perforación base agua que se usaran en el proyecto para estudiar experimental y teóricamente su interacción con las arcillas más reactivas de la zona litológica presente.

El sistema a estudiar es el SISTEMA INHIBIDOR DE ARCILLA BASE AGUA ya que este es el sistema base agua dulce con el que fue perforado el pozo de este sistema analizaremos cuáles son sus características, ventajas y desventajas para luego estudiar de la misma manera los sistemas propuestos en el proyecto con diferentes formulaciones encaminadas a la inhibición de las arcillas.

4.1 SISTEMA INHIBIDOR DE ARCILLA BASE AGUA:

El sistema INHIBIDOR DE ARCILLA BASE AGUA se corrió según la ventana de densidad, de propiedades y de concentraciones propuesta, aplicando floculación selectiva y bombeando píldoras de limpieza de diferente naturaleza cada 500' aproximadamente o según se requirió dependiendo del caso.

El sistema INHIBIDOR DE ARCILLA BASE AGUA se corrió con una densidad que se fue haciendo progresivamente mayor a la propuesta (densidad final de 15.4 lb/gal) debido a la presencia de gas, lo que afectó de manera directa e intrínseca las propiedades del sistema y las concentraciones de productos utilizadas. Dadas las características de las formaciones atravesadas y las condiciones operativas se incluyó el uso de material de estabilización y de puenteo adicional (como asfalto y grafito) y el uso de lubricante. Se continuó aplicando la floculación selectiva y la estrategia de bombeo de píldoras de limpieza de diferente naturaleza.

El sistema INHIBIDOR DE ARCILLA BASE AGUA, conforme a las condiciones encontradas en cada una de las diferentes etapas del pozo, cumplió con todos los objetivos propuestos en cuanto a control hidrostático, limpieza y estabilidad del hueco reflejado en los viajes de tubería, las diferentes corridas de registros eléctricos y las corridas y cementación de los revestimientos sin ocasionar ningún tipo de inconveniente.

El manejo y dosificación de los diferentes productos en las concentraciones aplicadas (para inhibición, estabilización, puenteo, reología, densidad, filtrado, etc.), un seguimiento detallado de las condiciones operativas, litologías presentes, cantidad y morfología de cavings, uso de simulaciones de la compañía y toda la estrategia aplicada, permitieron realizar un trabajo exitoso y manejar un fluido de acuerdo a las necesidades encontradas en el pozo.

Tabla 5. Formulación Sistema inhibidor de arcilla base agua.

PRODUCTO	FORMACION				
	Real Colorado (@1605')	Colorado-Mugrosa (@7595')	La paz-Umir (@9365')	La luna-Simiti (@14414')	Tablazo (@16123')
Biopolímero líquido (goma de Xanthan)	0,39	1,09	1,10	0,81	0,68
Copolímero acrilato		1,28	1,20	0,42	
Celulosa polianionica de bajo peso molecular		1,23	1,10	1,52	2,44
Celulosa polianionica de alto peso molecular		0,24	1,10	0,25	0,37
Polímero acrílico modificado		1,50	1,4	2,18	2,18
Material anfótero de bajo peso molecular		1,36	4,50	3,99	4,67
Borehib	2,39	6,51	6,30	5,66	5,85
Polímero líquido de alto peso molecular	0,45	1,01	1,10	0,28	3,44

PRODUCTO	FORMACION				
	Real Colorado (@1605')	Colorado-Mugrosa (@7595')	La paz-Umir (@9365')	La luna-Simiti (@14414')	Tablazo (@16123')
Ácido graso de talloil modificado		4,26	5,30	8,04	10,02
sulfato de bario molido		170,49	440,00	670,32	565,23
Carbonato de calcio #25		4,35		2,51	2,73
Carbonato de calcio #50		4,71		5,44	3,33
Carbonato de calcio #150		0,84		3,54	
Carbonato de calcio			14,50	11,49	6,06

Fuente: Autor

4.1.1 Comentarios generales del sistema inhibidor base agua tenidos en cuenta para el rediseño

- Fluido con la condiciones apropiadas para garantizar la limpieza y estabilidad del hueco
- Presencia de Controladores de filtrado
- Inhibición de arcillas altamente reactivas y pegajosas.
- Se realizó floculación selectiva para el control del MBT. Cabe resaltar que se usó la misma agua procedente de este proceso para preparar nuevamente el polímero usado con esta unidad (Polímero líquido de alto peso molecular). Esto se vio reflejado en la disminución del volumen de agua que entra al sistema activo, por ende el Agente densificante a adicionar fue menor en comparación a como se hace de costumbre, que es preparar el polímero con agua fresca aumentando así los volúmenes.
- Empleo de lubricantes para facilitar las maniobras en los viajes.
- Previo al trabajo de cementación y debido a las características de geles planas del fluido, no fue necesaria la adición de desfloculantes poliméricos ni de adelgazantes para reducir los valores de geles, lo que redujo los tiempos de circulación por acondicionamiento del fluido.

- Para evitar mayor actividad de las arcillas y de los sólidos en general, se tuvo especial cuidado de manejar alcalinidades relativamente bajas pero suficientes para mantener el sistema.
- Con el fin de remover una mayor cantidad de sólidos incorporados para el control de la densidad y de la reología del sistema fue necesaria la aplicación de una mayor concentración de Polímero líquido de alto peso molecular, incluir inhibidor #1 en la formulación con el fin de inhibir las arcillas y minimizar la inclusión de la soda caustica como fuente de alcalinidad para reducir la activación de los sólidos.
- Para controlar y mantener la pérdida de filtrado hacia la formación se adicionaron carbonatos de calcio 25,50 y 150 para mantener el filtrado en el rango programado en las concentraciones propuestas, ayudando con la estabilidad de la pared del pozo y las características del hueco.
- Las propiedades reológicas se mantuvieron con la adición de Biopolímero líquido (goma de Xanthan) brindando una buena suspensión de cortes bajo condiciones estáticas y condiciones óptimas de transporte en condiciones dinámicas.
- Como inhibidores químicos se usó una combinación de material anfótero de bajo peso molecular e inhibidor #1 para reducir y controlar la hidratación de intervalos arcillosos.
- Se adicionó ácido graso de tall oil modificado para reducir el torque, el arrastre y ayudando en maniobras de viaje de tubería, corrida de registros eléctricos y corrida del revestimiento.

4.1.2 Comentarios específicos del lodo

- **CONTROL DE FILTRADO:**

Durante toda la etapa de perforación no hubo inconvenientes para controlar y manejar la pérdida de fluido por filtración según los rangos programados. El éxito se logró mediante la adición de productos principales como Celulosa polianionica,

Celulosa polianionica de alto peso molecular, Polímeroacrílico modificado y de productos secundarios para crear un revoque compresible como Carbonato de calcio de tamaño seleccionado.

La torta generada siempre se mantuvo en óptimas condiciones ya que siempre se observó un revoque desfloculado formando una barrera delgada y poco permeable y dada la permeabilidad y presión de las formaciones atravesadas no se presentaron inconvenientes de pega diferencial.

- **INHIBICIÓN, SELLO Y PUENTE**

Los viajes a superficie se lograron sin generar tiempos no productivos durante la perforación.

Para lograrlo, el proceso de inhibición fue fundamental y ayudó a la finalización de la sección estabilizando las formaciones sensibles al agua reduciendo la hidratación. La adición de Inhibidor #1 y Material anfótero de bajo peso molecular en las concentraciones utilizadas (ver tabla 5) y el control continuo de su mantenimiento fue parte fundamental para lograr estabilizar químicamente las formaciones expuestas.

Para sellar y puentear las micro fracturas y/o poros de la formación se adicionó Carbonato de calcio de tamaño seleccionado en las concentraciones establecidas que evidenciaron la estabilidad mecánica del hueco permitiendo realizar las maniobras necesarias para terminar la secciones. No se evidenciaron cambios morfológicos significativos ni cambios anormales en el tamaño de los cortes durante la perforación. También se logró observar la estabilidad del sistema de fluidos (SISTEMA INHIBIDOR BASE AGUA) con respecto al tiempo y con respecto a las condiciones operacionales.

- **LUBRICIDAD**

La lubricidad se manejó mediante la adición de Ácido graso de tall oil modificado y con productos secundarios (lubricantes mecánicos). Estos productos se incorporaron en el revoque o cubrieron las superficies metálicas con una película protectora reduciendo de una manera efectiva la fricción entre la sarta y la pared del hoyo.

El lubricante disminuyó el coeficiente de fricción a valores cercanos a 0.2 y por lo tanto disminuyó tanto el torque (resistencia por fricción de la sarta al ser rotada) como el arrastre (misma resistencia por fricción pero al sacar o meter la sarta) y redujo también considerablemente los riesgos de un atascamiento diferencial.

- **REOLOGÍA**

Las características reológicas no fueron problema durante la operación. A pesar de la gran cantidad de material adicionado por cuestiones operacionales, la suspensión de sólidos a través del sistema y las características de limpieza fueron óptimas durante la operación, logrando mantener un sistema homogéneo y con gran capacidad de arrastre para el transporte de los cortes hacia superficie.

Para mantener el comportamiento plano del sistema, fue necesaria la adición de fluido nuevo durante la operación lo que ayudó a mantener el sistema bajo condiciones adecuadas de operación.

La reología del sistema se logró controlar mediante la concentración del viscosificante primario utilizado (Biopolímero líquido (goma de Xanthan)). Cuando no se pudo lograr un control efectivo de la reología debieron utilizarse materiales adelgazantes, dispersantes o desfloculantes que se adhieren a las partículas para reducir las fuerzas de atracción y la resistencia al flujo.

Tabla 6. Propiedades del sistema inhibidor de arcilla base agua.

PROPIEDAD	MINIMO	MAXIMO	TIPICA
Densidad del lodo, lb/gal	14,1	17,5	17,0
Viscosidad de embudo, seg/qt	59	115	82
VP, cP	30	82	60
YP, lb/100pies²	31	72	43
Yield Stress, lb/100pies²	6	18	11
Filtrado API, cm³/30 min	3,7	5,3	4,4
Geles, lb/100pies²	8/11/14	22/59/78	13/24/33
pH	9,0	10,5	9,65
MBT, lb/bbleq	5,0	12,5	7,5

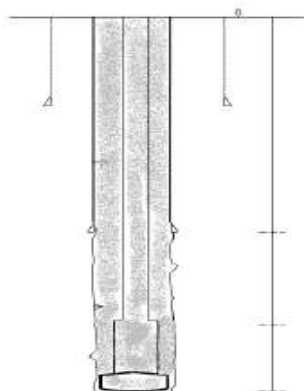
Fuente: Programa de lodos Halliburton

4.2 SISTEMA INHIBIDOR DE ARCILLA BASE AGUA MEJORADO (LODOBASE)

Una vez que se ha revisado el SISTEMA INHIBIDOR DE ARCILLAS BASE AGUA que fue con el que se perforo el pozo, ahora se procede a revisar los sistemas que se proponen para la perforación de los pozos con características similares a este, con el fin de disminuir la cantidad de inhibidor y así mismo mejorar las condiciones económicas y operacionales.

Se trabajó con un lodo base a partir de las formulación promedio trabajada por la compañía, de esta manera se desarrolló un lodo con el fin de controlar formaciones reactivas.

Figura 23. Esquema del pozo.



Las propiedades reológicas entre 7695' y 16123' a diferentes condiciones de presión y temperatura varían mucho entre el intervalo. La idea es que se logre generar un fluido "integral" que sirva tanto para 7695' como para 16123'

Fuente: Autor.

Tabla 7. Formulación Lodo Base para el sistema mejorado

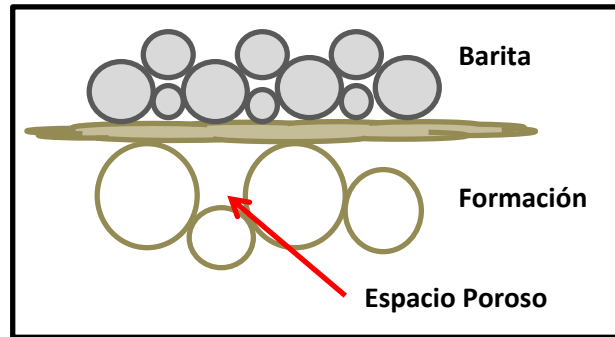
PRODUCTO	FORMACION					PROMEDIO	LODO BASE
	Real Colorado	Colorado-Mugrosa	La paz-Umir	La luna-Simiti	Tablazo		
Biopolímero liquido (goma de Xanthan)	0,39	1,09	1,10	0,81	0,68	0,92	1,00
Copolímero acrilato		1,28	1,20	0,42		0,96	1,00
Celulosa polianionica de bajo peso molecular		1,23	1,10	1,52	2,44	1,57	1,5
Celulosa polianionica de alto peso molecular		0,24	1,10	0,25	0,37	0,49	0,5
Polímero acrílico modificado		1,50	1,4	2,18	2,18	1,81	2,00
Material anfótero de bajo peso molecular		1,36	4,50	3,99	4,67	3,63	4,00
Inhibidor #1	2,39	6,51	6,30	5,66	5,85	6,08	6,00
Polímero liquido de alto peso molecular	0,45	1,01	1,10	0,28	3,44	1,45	1,00
Ácido graso de talloil modificado		4,26	5,30	8,04	10,02	6,90	
sulfato de bario molido		170,49	440,00	670,32	565,23	461,51	460,00
Carbonato de calcio #25		4,35		2,51	2,73	3,19	4,00
Carbonato de calcio #50		4,71		5,44	3,33	4,49	5,00
Carbonato de calcio #150		0,84		3,54		2,19	2,00
Carbonato de calcio			14,50	11,49	6,06	10,28	11,0

Fuente: Autor

4.2.1 Consideraciones generales antes de iniciar las pruebas

- Con el fin de cumplir con la reología de todo el intervalo se realiza un promedio de las concentraciones para toda la profundidad, es decir, si hay intervalos donde dan una reología por encima esto hará que sea más efectiva la limpieza del hueco, con un valor de Viscosidad Plástica agradable, un Yield Point agradable (un Yield Point que pueda sostener la mayor cantidad de sólidos pero que no afecte la Viscosidad Plástica).
- Debido a la condición de alta presión y temperatura fue necesario correr la prueba de HPHT para el lodo, es una prueba clave porque si el valor HPHT es alto quiere decir que la invasión de los fluidos hacia la formación es alta, esto puede ocasionar daño a la permeabilidad, porosidad natural y por ende a la estabilidad del hueco.
- Según pruebas realizadas, si se mantiene un valor de filtrado HPHT en 10ml se puede alcanzar la disminución de los inhibidores debido a que estos son más costosos.
- Para la prueba LMS% se debe tener en cuenta, por ejemplo: Si en todo en intervalo se tiene 25% de lutitas o de arcillas reactivas (ilitas) se usa un inhibidor muy efectivo, pero si son caolintas y esmectitas se usa es un encapsulador y no un inhibidor porque estos minerales no tienden a hincharse tanto, si migran y tiene algo de reactividad pero no más que las lutitas.
- Agentes Puenteantes: la barita tiene granos medianos y finitas para puentear los espacios porosos, como la barita es de un solo tamaño va a tener o muchos finos o muchos gruesos que se podrían quedar metidos en la formación y cuando se haga la limpieza del hueco, el grano de barita va a quedar dentro de la formación ocasionando taponamiento (ver figura 23)

Figura 24. Agentes Puentes.



Fuente: Autor

- Para la formulación del lodo se usa el software de Halliburton, para lograr resultados concretos se debe conocer:
 1. Las características del material de peso que en nuestro caso es la BARITA
 2. Las cantidades a agregar de CARBONATOS (11lb/gal con densidad de 2,6 lb/ft³)
 3. La relación agua-aceite en este caso es de 0% aceite, 100% agua, debido a que es un lodo base agua (WBM).

Partiendo de los datos anteriores, el software arroja resultados del peso del lodo de 17lb/gal y un total de 467 lb/bbl de barita.

Equivalencias:

Tabla 8. Equivalencias entre campo y laboratorio

Campo	Laboratorio
1bbl = 42 gal	1bbl = 350ml
1lpb = 456gr (solidos)	1lpb = 1 gr (masa) (solidos)
1lpb eq = densidad (liquido)	1lpb = 1ml (liquido)

Fuente: Autor

Después de estas consideraciones y a partir de un promedio de los productos empleados en la formulación original, se determinó el lodo base con el cual se van a realizar las pruebas para mejorar el rendimiento del mismo (ver tabla 9).

Tabla 9. Lodo base agua mejorado.

PRODUCTO	LODO BASE
Biopolímero líquido (goma de Xanthan)	1,00
Copolímero acrilato	1,00
Celulosa polianionica de bajo peso molecular	1,5
Celulosa polianionica de alto peso molecular	0,5
Polímero acrílico modificado	2,00
Material anfótero de bajo peso molecular	4,00
Inhibidor #1	6,00
Polímero líquido de alto peso molecular	1,00
Ácido graso de talloil modificado	-
sulfato de bario molido	460,00
Carbonato de calcio #25	4,00
Carbonato de calcio #50	5,00
Carbonato de calcio #150	2,00
Carbonato de calcio	11,0

Fuente: Autor

4.2.2 Características del sistema. Este fluido de perforación base agua fue diseñado para controlar e inhibir completamente la hidratación de las arcillas en formaciones altamente reactivas, tiene la capacidad de suministrar estabilidad en el pozo, alta velocidades de penetración y propiedades reológicas aceptables sobre una amplia gama de temperaturas.

Característica principal: Inhibidor de arcillas:

El sistema contiene tres aditivos poliméricos, con la capacidad de minimizar la hidratación de lutita casi instantáneamente.

- Un floculante que puede ser efectivo a bajas concentraciones, los sólidos de perforación son encapsulados a medida que la broca de perforación los va generando.
- Dos inhibidores que pueden evitar la hidratación y la desintegración de formaciones ricas en arcilla, particularmente en formaciones problemáticas, como las que se encuentran en perforaciones de aguas profundas.
- Otras Características:
- El sistema posee reología estable desde 4°C hasta 150°C (39°F hasta 302°F). Estas características de desempeño son atribuibles en parte a la ausencia de arcilla comercial, a las eficaces propiedades inhibidoras del sistema y la química de los polímeros que controlan las propiedades reológicas.

Tabla 10. Características de los productos del sistema inhibidor de arcilla base agua mejorado:

PRODUCTO	FUNCION PRINCIPAL
Biopolímero líquido (goma de Xanthan)	Viscosificante / Agente de suspensión
Copolímero acrilato	Agente de suspensión
Celulosa polianionica de bajo peso molecular	Agente de control de filtrado
Celulosa polianionica de alto peso molecular	Agente de control de filtrado
Polímero acrílico modificado	Agente de control de filtrado
Material anfótero de bajo peso molecular	Estabilizador de lutitas
Inhibidor #1	
Polímero líquido de alto peso molecular	Floculante
Ácido graso de talloil modificado	lubricante para altas presiones
sulfato de bario molido	Agente densificante
Carbonato de calcio #25	Agentes puenteantes

PRODUCTO	FUNCION PRINCIPAL
Carbonato de calcio #50	Agente puenteante
Carbonato de calcio #150	Agente puenteante

Fuente: Autor

4.3 ANALISIS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS

4.3.1 Pruebas Reológicas. A continuación se muestran los resultados de las pruebas que se realizaron en el Viscosímetro Fann 35 (2X) a una temperatura de 120°F y lecturas en Θ 600rpm, Θ 300rpm, Θ 200rpm, Θ 100rpm, Θ 6rpm, Θ 3rpm, fuerza de gel de 10 segundos y 10 minutos, viscosidad plásticas, punto de cedencia (Yield Point) y los resultados de los volúmenes de filtrado en la filtro prensa API, PPT y HPHT bajo los procedimientos a seguir según las normas mencionadas en el capítulo 2.

Al fluido de perforación seleccionado como base se le realizaron las pruebas respectivas para poder generar un análisis del cual se pudiera mejorar económica y operacionalmente el lodo, los resultados son mostrados en la tabla 12.

La prueba PPT se realizó para las formulaciones con un tamaño de garganta de 32,42 micrones, definido como se muestra en la tabla 11.

Tabla 11. Tamaño de partícula prueba PPT

Producto	Cantidad(gr)	Porcentaje	Promedio Partícula (micrones)	Tamaño Partícula (micrones)
Barita	460	97,6645435	32	31,2526539
DF 25	4	0,8492569	25	0,21231423
DF 50	5	1,06157113	50	0,53078556

Producto	Cantidad(gr)	Porcentaje	Promedio Partícula (micrones)	Tamaño Partícula (micrones)
DF 150	2	0,42462845	100	0,42462845
TOTAL	471			32,4203822

Fuente: Autor

Tabla 12. Resultado pruebas al fluido inhibidor de arcilla base agua mejorado

PRUEBA	LODO FRESCO	ROLADO @ 200°F			ROLADO @ 230°F			ROLADO @250°F		
		24 HORAS	48 HORAS	72 HORAS	24 HORAS	48 HORAS	72 HORAS	24 HORAS	48 HORAS	72 HORAS
MW, lb/gal	17,4+				16,7					
Ph	10,8	10,78	10,6	10,43				10,1		
Filtrado API, ml	2,2	4,8	4,5	6	2,5	2,7	2,8	3,5	4	4
Cake Filt. API	4/32"	4/32"	3/32"	3/32"	4/32"	4/32"	4/32"	3/32"	4/32"	4/32"
PPT (@200°F/31000psi), ml	34,3	-	-	-	-	-	-	28,5	27,1	29,8
Cake PPT	16/32"	-	-	-	-	-	-	7/32"	7/32"	8/32"
Valor HPHT (@250°F/3500psi)	13	6,5	8,5	10,5	13	16	15	16,6	18	17
Cake HPHT	6/32"	8/32"	10/32"	12/32"	12/32"	8/32"	8/32"	10/32"	12/32"	14/32"
Reología										
Θ600	504	444	448	424	402	398	392	288	288	278
Θ300	356	310	312	300	270	270	270	190	190	182
Θ200	284	252	250	244	220	218	218	150	150	142
Θ100	194	178	172	166	150	148	148	98	100	92
Θ6	46	46	44	42	30	32	32	18	18	16
Θ3	34	34	32	32	20	20	20	12	12	10
Geles										
10Segs	34	34	32	30	20	20	20	12	12	10
10mints	44	38	38	34	26	26	24	20	18	16

		ROLADO @ 200°F			ROLADO @ 230°F			ROLADO @250°F		
VP	148	134	136	124	132	128	122	98	98	96
YP	208	176	176	176	138	142	148	92	92	86
YS	22	22	20	22	10	8	8	6	6	4
Químicas										
Pf/Mf, ml	1,13/3,36	1,06/3, 3	1,42/3, 23	2,74/5, 41	0,97/3, 36	1,09/4, 6	1,08/4, 0	1,15/4, 0	1,0/4,0	1,17/4, 0
Cloruros, ppm	1470	1290	2430	2750	1300	1400	1400	1300	1000	1150
Calcios, ppm	31,2	80	80	80	124	120	224	88	80	100

Fuente: Autor

Se puede observar en los resultados obtenidos que ningún valor da por fuera del rango esperado en el programa original entregado por la compañía y trabajo en el campo, por lo tanto se puede esperar buen desempeño del fluido frente a la formación, y se puede partir de la formulación base para realizar la prueba de hinchamiento lineal una vez se defina la arcilla más reactiva a través de la capacidad de intercambio catiónico.

4.3.2 Prueba MBT e hinchamiento lineal

4.3.2.1 Selección de las muestra para las pruebas de capacidad de intercambio cationico e hichamiento lineal: Una vez revisados los conceptos necesarios sobre las arcillas, se procede a seleccionar las formaciones arcillosas a estudiar del Campo X, de tal manera que se pueda analizar posteriormente su interacción con los diferentes fluidos de perforación propuestos.

Los pasos a seguir fueron los siguientes:

1. Recolección de muestras de ripios representativos de la litología cada 10 pies en el Campo X

2. Se deben llevar las muestras al laboratorio para revisarlas y chequear que no estén contaminadas o mezcladas.
3. Las muestras se secan a temperatura de 250°F durante 24 horas con el fin de evaporar cualquier fluido u otro agente que este contaminando la muestra.
4. Con las muestras a temperatura ambiente se guardan permaneciendo secas y sin que se mezclen unas con otras. Es importante etiquetarlas indicando el campo, el pozo, la profundidad a la que pertenece la muestra, el peso y a que formación pertenecen.

Figura 25. Cortes de la formación



Fuente: Autor

5. Entre los criterios que se tendrán para la selección de las formaciones a ser estudiadas experimentalmente están:
 - Máximo porcentaje de arcilla presente en la formación. (Prueba MBT)
 - Máximo porcentaje de los minerales arcillosos illita y esmectita, ya que estos bajo la presencia de agua son los que más se dispersan e hinchan, respectivamente.
6. Se realiza la prueba de capacidad de intercambio catiónico para determinar en cuál de las profundidades se encontraba la arcilla más reactiva.

Como se aprecia en las marcas ubicadas en la figura 26, la mayor presencia de arcilla se encuentra a 9850 pies (ver tabla 13 y grafica 1).

Figura 26. Prueba MBT



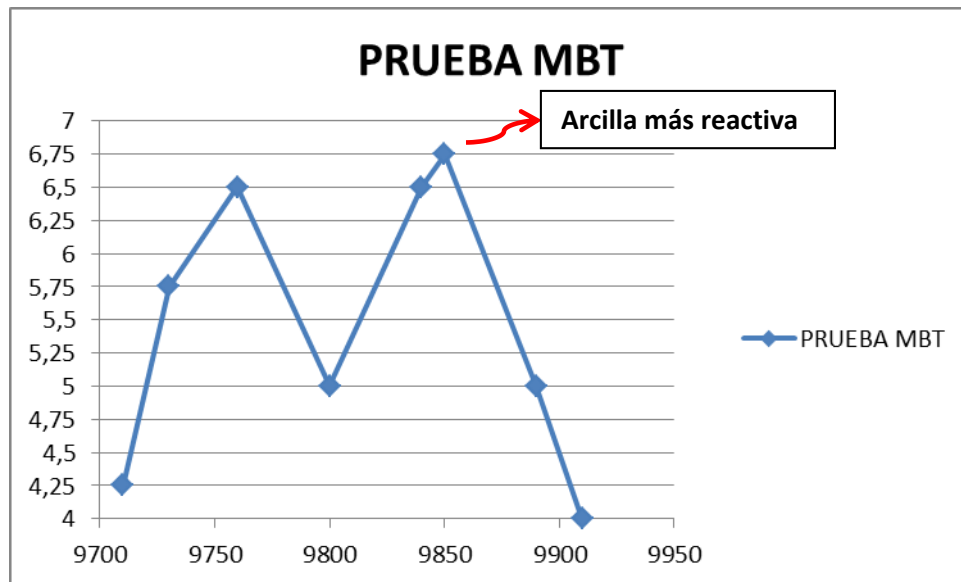
Fuente: Autor

Tabla 13. Resultados prueba MBT.

PRUEBA MBT	
PROFUNDIDAD (ft)	CEC (meq/100gr)
9710	4,25
9730	5,75
9760	6,5
9800	5
9840	6,5
9850	6,75
9890	5
9910	4

Fuente: Autor

Gráfica 1. Resultados prueba MBT



Fuente: Autor

7. Esta profundidad es la seleccionada para realizar la prueba de hinchamiento lineal empleando los fluidos de perforación formulados.

Es importante tener en cuenta que en esta zona arcillosa (9850 pies) es la que más problemas causó en el proceso de perforación del pozo, estos problemas se encuentran registrados en el programa de lodos de la compañía y no pueden ser publicados debido a restricciones.

Con los fluidos de perforación empleados y a partir de los resultados de las pruebas físico químicas se puede esperar inicialmente un control del fluido en cuanto a que no se presenten problemas como:

- Incremento de la viscosidad del fluido de perforación de manera considerable, ya que puede causar aumento de presión en las bombas del sistema de circulación, aumento de geles y problemas con la penetración de la broca.
- Adición de sólidos al sistema, debido a que incrementa la densidad equivalente de circulación.

- Hinchamiento de las paredes del pozo, el cual puede causar pega de tubería o impedir que se pueda bajar el casing cuando se necesario.

Si se controlan estos problemas se mantendrá el equilibrio económico de la operación.

4.3.2.2 Pruebas de hinchamiento lineal con diferentes inhibidores

En la siguiente tabla (ver tabla 14) se pueden apreciar las concentraciones empleadas para las formulaciones de los fluidos a usar en el hinchamiento lineal.

Tabla 14. Formulación con diferentes inhibidores.

PRODUCTO	Formulación #1	Formulación #2	Formulación #3	Formulación #4
Biopolímero líquido (goma de Xanthan)	1,00	1,00	1,00	1,00
Copolímero acrilato	1,00	1,00	1,00	1,00
Celulosa polianionica de bajo peso molecular	1,50	1,50	1,50	1,50
Celulosa polianionica de alto peso molecular	0,50	0,50	0,50	0,50
Polímero acrílico modificado	2,00	2,00	2,00	2,00
Material anfótero de bajo peso molecular	4,00	4,00	6,00	
Inhibidor #1	6,00	6,00		8,00
Polímero líquido de alto peso molecular	1,00	1,00	1,00	1,00
Ácido graso de talloil modificado	6,00			
sulfato de bario molido	460,00	460,00	460,00	460,00
Carbonato de calcio #25	4,00	4,00	4,00	4,00
Carbonato de calcio #50	5,00	5,00	5,00	5,00
Carbonato de calcio #150	2,00	2,00	2,00	2,00

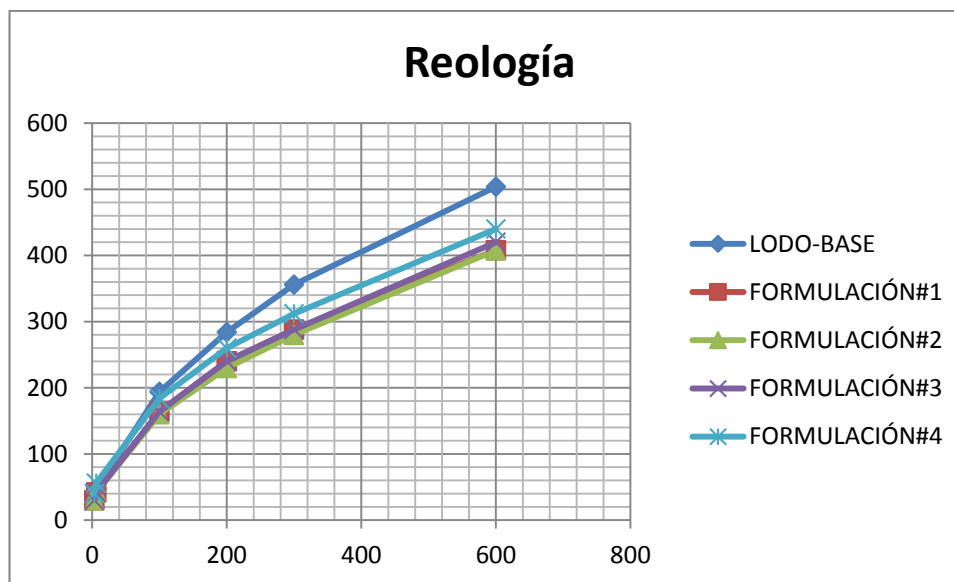
Fuente: Autor

Tabla 15. Resultados pruebas realizadas a los nuevos fluidos formulados.

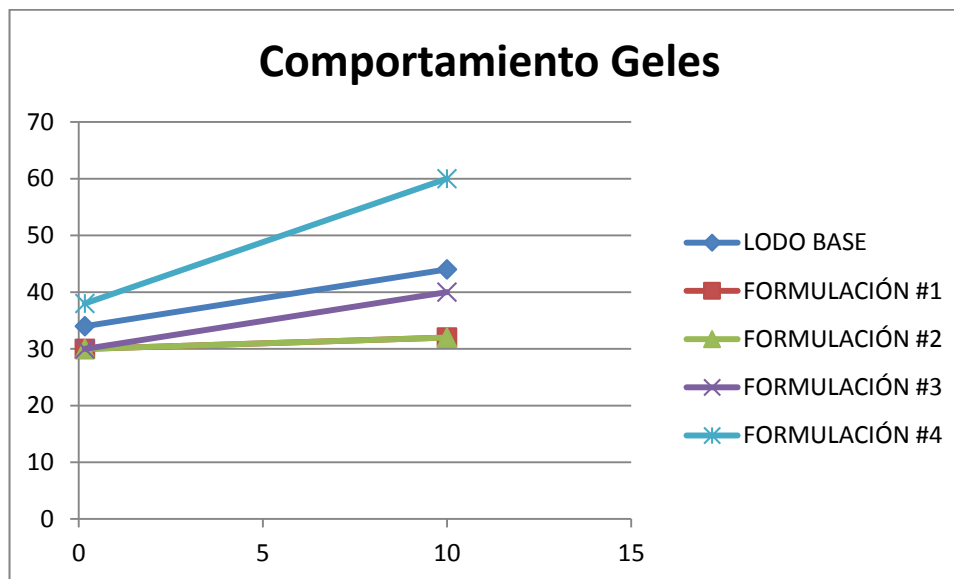
FORMULACIÓN	TEMP (°F)	RPM						Geles		VP	YP	YS	Filtrado o API ml
		600	300	200	100	6	3	10 segs	10 mins				
LODO BASE	120°F	504	356	284	194	46	34	34	44	148	208	22	2,2
FORMULACIÓN #1		408	288	240	164	42	30	30	32	120	168	18	1
FORMULACIÓN #2		408	280	230	160	42	30	30	32	128	152	18	3,5
FORMULACIÓN #3		420	288	240	164	42	30	30	40	132	156	18	3
FORMULACIÓN #4		440	312	260	184	184	56	40	38	60	128	184	24

Fuente: Autor.

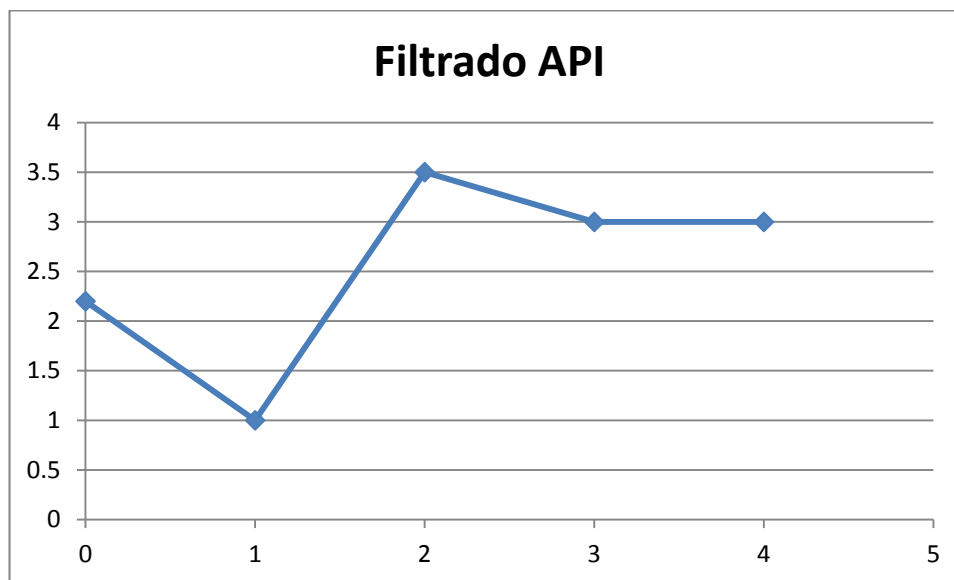
Gráfica 2. Reología de los diferentes lodos formulados



Gráfica 3. Comportamiento gel de los diferentes lodos formulados



Gráfica 4. Valor Filtrado API de los lodos formulados.



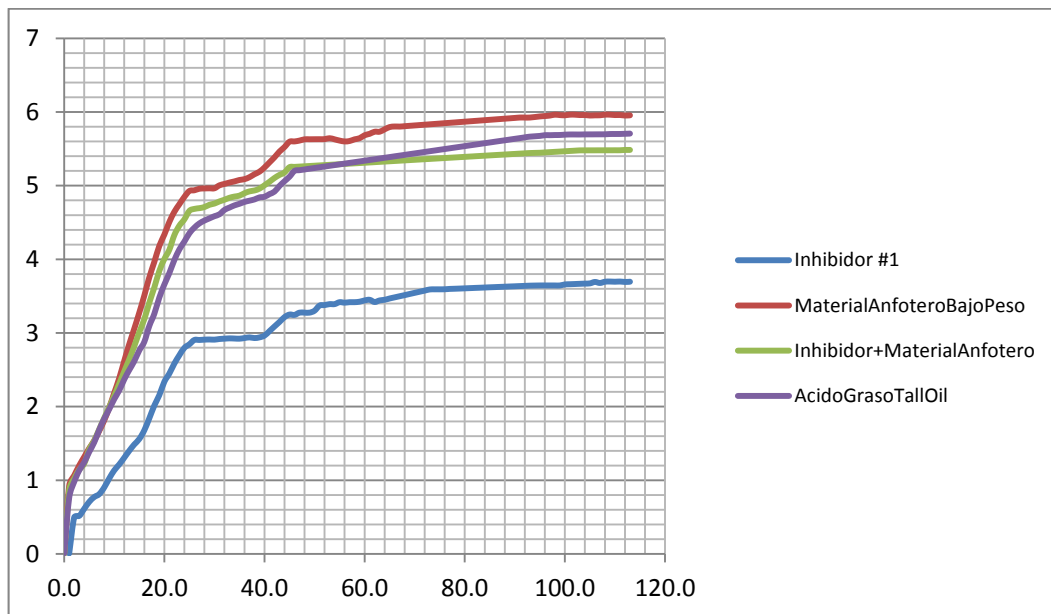
Se puede observar en los resultados obtenidos (ver graficas 3, 4 y 5) que a pesar de variar las concentraciones de inhibidor, las diferentes formulaciones propuestas conservan las propiedades reológicas y de filtrado del lodo base propuesto a partir de las concentraciones usadas por la compañía. Además de esto la tabla 6 muestra

los valores propuestos por la Compañía se evidencia que los resultados trabajados en laboratorio no exceden estos rangos incluido en el programa de lodos.

A partir de estos resultados se corrió la prueba de hinchamiento lineal con los plugs reconstruidos a la profundidad con presencia de arcillas más reactivas.

Se realizó un estudio de la deformación presentadas por las muestras frente a diferentes concentraciones de inhibidores en los lodos preparados, con el fin de determinar cuál de los inhibidores se desempeñaba mejor.

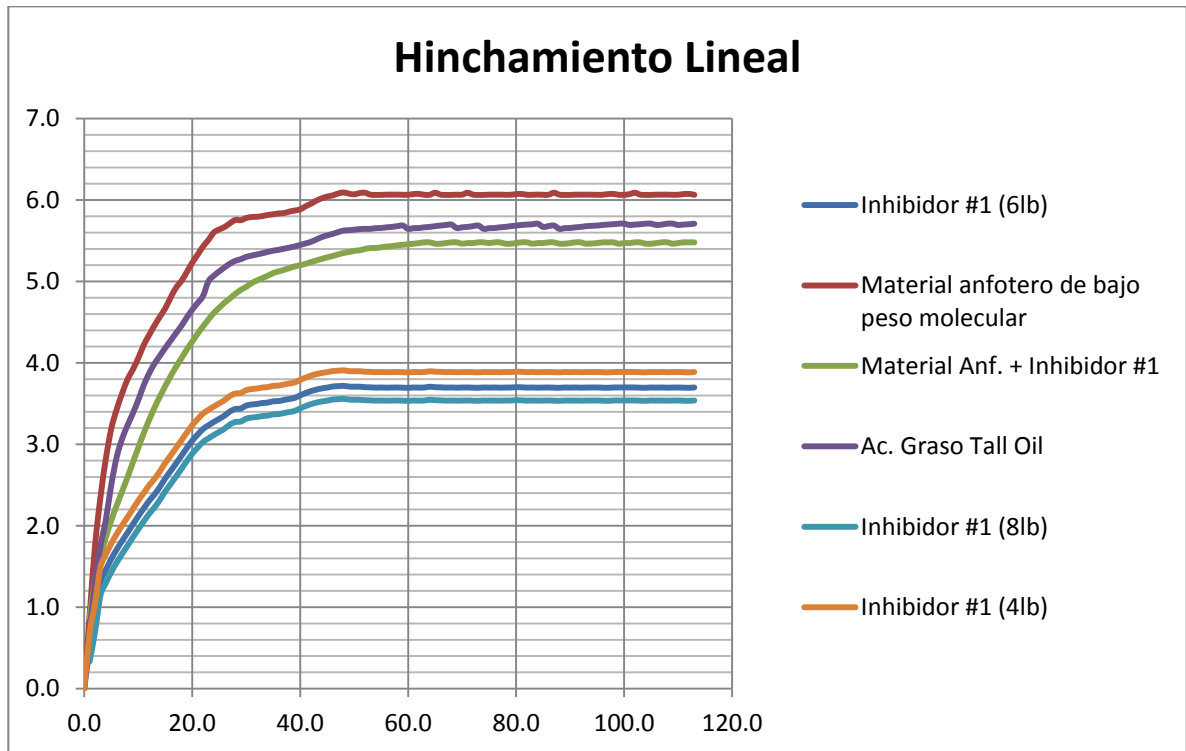
Gráfica 5. Hinchamiento lineal.



A partir de la gráfica 5 de los resultados de hinchamiento lineal se puede observar que el Inhibidor #1 fue el que mejor desempeño tuvo frente al hinchamiento de las arcillas y de esta manera en forma descendiente la formulación con Inhibidor #1 y Material anfótero de bajo peso molecular, ácido graso de taloil modificado y por último la formulación que tan solo tenía material anfótero de bajo peso molecular como inhibidor.

La invasión de agua dentro de la arcilla se redujo a un porcentaje aceptable dentro de los rangos establecidos (10% – 12%).

Gráfica 6. Hinchamiento lineal para diferentes concentraciones de Inhibidor



A la formulación #4 que fue la que tuvo mejor desempeño se volvió a correr la prueba de hinchamiento lineal variando las concentraciones de la siguiente manera:

- Inhibidor #1: 4lbpb
- Inhibidor #1: 6lbpb
- Inhibidor #1: 8lbpb

Con los resultados obtenidos empleados diferentes concentraciones de inhibidor Inhibidor #1 se comprobó que a mayor concentración de inhibidor menor es el porcentaje de hinchamiento presentado. Con las concentraciones seleccionadas se

observó que utilizando 4, 6 u 8 libras se obtiene una inhibición similar por lo que se elegiría la de menor concentración para minimizar costos.

Por lo tanto la formulación final que se trabajaría para el tipo de arcilla encontrada sería la mostrada en la tabla 16.

Tabla 16. Formulación fluido de perforación base agua inhibidor de arcillas.

PRODUCTO	Concentraciones
Biopolímero liquido (goma de Xanthan)	1,00
Copolímero acrilato	1,00
Celulosa polianionica de bajo peso molecular	1,50
Celulosa polianionica de alto peso molecular	0,50
Polímero acrílico modificado	2,00
Material anfótero de bajo peso molecular	
Inhibidor #1	4,00
Polímero liquido de alto peso molecular	1,00
Ácido graso de talloil modificado	
sulfato de bario molido	460,00
Carbonato de calcio #25	4,00
Carbonato de calcio #50	5,00
Carbonato de calcio #150	2,00
Carbonato de calcio	

Fuente: Autor.

Nota: En los anexos se encuentran las fichas técnicas y las MSDS de cada producto.

5. CONCLUSIONES

- La realización de pruebas preliminares permitió comprobar que las lecturas de los fluidos formulados tenían un comportamiento coherente respecto a las propiedades de los productos en el hinchamiento lineal.
- El rediseño del fluido de perforación empleando inhibidores de arcilla tiene un excelente rendimiento físico de inhibición.
- La torta generada siempre se mantuvo en óptimas condiciones ya que siempre se observó un revoque desfloculado formando una barrera delgada y poco permeable siendo esto bueno para evitar inconvenientes de pega diferencial dada la permeabilidad y presión de las formaciones de arcilla.
- El proceso de inhibición fue fundamental y ayudó a la estabilización de la arcilla sensible al agua reduciendo la hidratación.
- A pesar de la gran cantidad de material de peso adicionado, no se presentó asentamiento cuando se dejaron los fluidos estáticos. Esto es bueno para mantener sólidos en suspensión durante una operación y mejorar las características de limpieza, logrando mantener un sistema homogéneo.
- La hidráulica corrida a diferentes profundidades en el software de Halliburton mostraron un buen comportamiento del fluido en cuanto a la limpieza del pozo, arrojando resultados de carga de sólidos menores a 3%.

6. RECOMENDACIONES

- Tener presente los procedimientos para determinar las propiedades físicas y químicas, ya que esto permite realizar un seguimiento más preciso al fluido de perforación en la operación de un pozo y poder de esta forma cumplir con los requerimientos que demanda cada pozo en el proceso de perforación o detectar cualquier tipo de contaminante.
- Se recomienda evaluar las adiciones y concentraciones de estos productos en sistemas de alto peso previo a trabajos de este tipo con el objetivo de mitigar posibles asentamientos del material utilizados para incrementar la densidad.
- Mientras se trabaje con polímeros se debe tener en cuenta el valor de pH ya que podrían quemarse si este valor es mayor a 12, por esto se recomienda no aumentar la concentración de inhibidor #1 a 8lb debido a que este producto maneja un pH de hasta 11,9.
- Si se realizan pruebas de rolados se debe tener cuidado con el comportamiento del lodo, en la reología es normal que empiece a disminuir sus valores y en cuanto a la apariencia del lodo si se hace muy acuoso después de someterlo a altas temperaturas podría ser un indicio de que las propiedades viscosificantes de algunos productos se han perdido debido al rompimiento de las cadenas de los polímeros.

BIBLIOGRAFÍA

CASTILLO PARRALES, Álvaro Fernando. "Evaluación y optimización de diferentes fluidos de perforación aplicados para el campo Villano, Operado por AgipOil Ecuador" Guayaquil, Ecuador 2008.

Amoco Production Company, Drilling Fluids manual

BOLE, G.M.; WONG S.W. Borehole Stability InShales. Artículo SPE 24975. 1974.

BP & Chevron Texaco Drilling Fluids Manual

BRANDON, B.D. et al. "Development of a New IADC Fixed Cutter Drill Bit Classification System," SPE Paper No. 23940 presented at the 1992 IADC/SPE Drilling Conference, New Orleans, LA, February 1992

Chenevert M. et al.: Stabilizing sensitive shales with K-based drilling fluids. 1973.

CHENEVERT MARTIN, E. and Vincent Pernot. Control Of Shale Swelling Pressures Using Water-Base Muds. TheUniversity of Texas at Austin. SPE 49263. 1998.

CIFUENTES, Erik H. "Procedimiento para pegar straingages en muestras de roca". Presentación. Personal Técnico Laboratorio de Mecánica de Rocas del Instituto Colombiano de Petróleos ICP.

CRESS, L.A. "How and When To Run a PDC Bit in the Upper Texas Gulf Coast-An Operator's Viewpoint," SPE Paper No. 11388 presented at the IADC/SPE 1983 Drilling Conference, New Orleans, LA, February 1983.

GARCIA ROMERO, EMILIA. "Las arcillas: propiedades y usos", Universidad Complutense, Madrid.

Fam M.A; Dusseault M. B. Borehole Stability In Shales: A Physico-Chemical Perspective. Articulo SPE 47301. 1999. Pg. 461-463.

GRIM, R.: applied Clay Mineralogy, 1st ed. 1962 McGraw-Hill, New York.

Linear Swell Meter, Instruction Manual.

Manual de educación continua Halliburton

M-I SWACO SCHLUMBERGER COMPANY. Drilling Fluids Engineering Manual. Version v2s. 2006.

MURRAY H.H. Applied Clay Mineralogy: Occurrences, Processing and Application of kaolinis, Bentonites, Palygorskite, sepiolite, and common Clays.1

NORMA API 13B-I

RESTAN, Luis José y OSPINA, Gustavo Adolfo. Estudio de factibilidad para el uso del mucilago de fique como producto estabilizador de arcillas. Trabajo de grado Ingeniero de Petróleos. Bucaramanga.: Universidad industrial de Santander. Facultad de ingenierías Fisico-Químicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos, 2005.

RODRÍGUEZ R. y BRAVO M. Estudio De La Inestabilidad De Las Lutitas Durante La Perforación. Tesis de Grado. UIS.Pg 20-24. 1976.







ROY S. and COOPER G,A. Prevention of Bit Balling in Shales: Some Preliminary Results. Articulo SPE 23870. 1993.

SANTARELI, F.J. and CARMINATI,Stefano.EnIricercheSpA.Do Shales Swell A
Critical of Available Evidence.AGIPSpA, SPE/IADC 29421.1995.

VAN OORT, E., Hale. Transport In Shales And The Design Of Improved Water-
Based Shale Drilling Fluids. A.H. SPE 28309.

ANEXOS

ANEXO A. Fotografías de los revocos obtenidos en laboratorio.

	
<p style="text-align: center;">Cake lodo base fresco</p>	<p style="text-align: center;">Cake de 4/32" para el lodo base-fresco</p>
	
<p style="text-align: center;">Lodo Base-Rolado a 200°F por 24 y 48 horas-Cake 4/32"</p>	<p style="text-align: center;">Lodo Base-Rolado a 200°F por 24 horas-Cake 3/32"</p>
	
<p style="text-align: center;">Lodo Base-Rolado a 200°F por 24, 48 y 72 horas-Cake 4/32"</p>	<p style="text-align: center;">Lodo Base-Rolado a 250°F cake de 4/32" para 48 y 72 hras.</p>

	
Lodo Base Rolado a 200°F por 24 horas- Cake HPHT 8/32"	Lodo Base Rolado a 200°F por 24 horas- Cake HPHT 10/32"
	
Lodo Base Rolado a 230°F por 24 horas- Cake HPHT 12/32"	Lodo Base Rolado a 230°F por 48 y 72 horas- Cake HPHT 8/32"
	
Lodo Base Rolado a 250°F por 48 horas- Cake HPHT 12/32"	Lodo Base Fresco, Cake PPT 16/32"
	
Lodo Base Rolado a 250°F por 24 y 48 horas- Cake HPHT 7/32"	Lodo Base Rolado a 250°F por 72 horas- Cake HPHT 8/32"

ANEXO B. Información técnica de los productos

BIOPOLÍMERO EN POLVO (GOMA DE XANTHAN)

DESCRIPCION DEL PRODUCTO: biopolímero en polvo (goma de Xanthan) con dispersante incorporado, provee viscosidad y suspensión en fluidos a base de agua dulce, agua de mar, bromuro de sodio, bromuro de potasio, cloruro de potasio y cloruro de sodio. Ha sido especialmente formulado para ser más fácil de dispersar.

APLICACIÓN/FUNCIONES:

- Suspender agentes puenteantes y materiales densificantes en sistemas de agua dulce y de salmueras descritos arriba.
- Viscosificar fluidos a base de agua dulce o de salmuera usados para perforar, moler, ensanchar y en operaciones de empaque de grava.

VENTAJAS:

- Se dispersa fácilmente en agua dulce o salmuera con agitación
- Provee propiedades tixotropicas y características de flujo no newtoniano a un amplio rango de salinidades con baja concentración
- Provee excelente suspensión sin requerir arcillas adicionales.
- Reduce al mínimo el potencial de daño a la formación
- Estable hasta 250°F (121°C)

PROPIEDADES CARACTERISTICAS:

- Apariencia: Polvo amarillo a blanco
- pH (solución acuosa al 1%): 6.3
- Gravedad específica: 1.6

TRATAMIENTO ACONSEJADO: Agregar 0.1 -2 lbs/bbl (0.3 – 5.7 kg/m³) de BARAZAN D PLUS, o lo necesario para obtener la viscosidad y características de suspensión deseada.

PRESENTACION: disponible en bolsas de 25lbs (11.3 kg).

COPOLIMERO DE ACRILATO

DESCRIPCION DEL PRODUCTO: el aditivo de copolimero de acrilato es utilizado en fluidos de perforación base agua como agente de control de filtrado. El agente de suspensión BORE-PLUS es térmicamente estable hasta 400°F (265°C).

APLICACIÓN/FUNCIONES:

- Puede ser utilizado para reducir el filtrado de agua dulce, salobre o salada.
- Puede desempeñar una función secundaria como inhibidor de lutita.

VENTAJAS:

- Ayuda a estabilizar el sistema de lodo hasta temperaturas próximas a los 400°F (265°C).
- No es susceptible a la degradación bacteriana.
- Puede tolerar una contaminación de calcio de hasta 600ppm
- Ayuda a estabilizar la reología del fluido.

PROPIEDADES CARACTERISTICAS:

- Apariencia: polvo y escamas blancas.
- pH: 6 a 9
- Densidad de granel: 28lb/ft³
- Densidad a granel: 449 kg/m³

TRATAMIENTO ACONEJADO:

- Para fluidos de agua dulce, agregar 0.25-2.0 lbs/barril (0.7-2.9 kg/m³)
- Para fluidos de agua salada, agregar 1.0 – 3.0 lbs/barril (2.9 – 8.6 kg/m³)

PRESENTACIÓN: el agente de suspensión BORE-PLUS está disponible en sacos de 50 lbs (22.7 kg).

CELULOSA POLIANIONICA

DESCRIPCION DEL PRODUCTO: la celulosa polianionica se utiliza para proveer control de filtrado en la mayoría de los fluidos de perforación base agua. El agente de control de filtrado PAC-L también se puede utilizar en pequeñas concentraciones como adelgazante en agua de mar y fluidos base salmuera.

APLICACIÓN/FUNCIONES:

- Ayuda a controlar la velocidad de filtrado sin aumentar significativamente la viscosidad del fluido.
- Encapsular la lutita a fin de evitar su hinchamiento y desintegración.

VENTAJAS:

- Efectivo en agua dulce, agua salada y salmueras.
- Efectivo en bajas concentraciones para controlar el filtrado.
- Estable a temperaturas de hasta 300°F (149°C)
- Efectivo para un amplio rango de pH, desde moderado hasta alto.
- No necesita bactericida.
- No es toxico.

PROPIEDADES CARACTERISTICAS:

- Apariencia: polvo de color blanco o castañoclaro

- Densidad a granel: 40 a 55 lb/ft³
- Densidad a granel: 642 a 881 kg/m³
- pH, (solucio acuosa al 1%): 7.75

TRATAMIENTO ACONSEJADO: Agregar con lentitud 0.5 – 3.0 lbs/barril (1.43 – 8.56 kg/m³) de agente de control de filtrado PAC-L a través del embudo.

PRESENTACIÓN: el agente de control de filtrado PAC-L esta disponible en bolsas de 50 lbs (22.7 kg).

CELULOSA POLIANIONICA DE ALTO PESO MOLECULAR

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO: la celuloapolianionica de alto peso molecular se utiliza para controlar el filtrado y aportar viscosidad suplementaria en la mayoría de los fluidos de perforación base agua.

APLICACIÓN/FUNCIONES:

- Ayuda a controlar las velocidades de filtración.
- Ayuda a retardar el hinchamiento y la desintegración de la lutita.
- Ayuda a aportar viscosidad suplementaria en fluidos de agua dulce, de agua de mar y salmueras.

VENTAJAS:

- Efectivo en agua dulce, agua salada y salmueras.
- Efectivo en bajas concentraciones para control de la viscosidad y del filtrado.
- Estable a temperaturas de hasta 300°F (149°C)
- Efectivo en sistemas de pH moderado y alto.
- No es toxico
- No necesita bactericida

PROPIEDADES CARACTERISTICAS:

- Apariencia: polvo de color blanco o castaño claro
- Densidad a granel: 40 a 55 lb/ft³
- Densidad a granel: 641 a 881 kg/m³
- pH , (solución acuosa a 1%): 8

TRATAMIENTO ACONSEJADO: Agregar con lentitud 0.5 – 2.0 lbs/barril (1.43 – 5.71 kg/m³) de agente de control de filtrado PAC-R a través del embudo.

PRESENTACIÓN: El agente de control de filtrado PAC-R esta disponible en bolsas de 50 lbs (22.7 kg).

POLÍMERO ACRÍLICO MODIFICADO

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO: el polímero acrílico modificado se usa en fluidos de perforación base agua como agente de control de filtrado. El agente de control de filtrado POLYAC PLUS tiene estabilidad térmica hasta los 400°F (204 °C), y no es susceptible a la degradación bacteriana. El agente de control de filtrado POLYAC PLUS se puede usar tanto en sistemas no densificados como densificados. El agente de control de filtrado POLYAC PLUS puede tolerar niveles de calcio de hasta 400ppm, aunque se recomienda un tratamiento con carbonato o bicarbonato de sodio para remover el calcio del agua que se va a utilizar.

APLICACIÓN/FUNCIONES:

- El agente de control de filtrado POLYAC-PLUS se usa para reducir el filtrado en agua dulce, salobre o salada.

VENTAJAS:

- Ayuda a mejorar la integridad de los recortes.
- Estable a temperaturas cercanas a los 400°F

- No susceptible a la degradación bacteriana.
- Ayuda a reducir al mínimo el impacto de la viscosidad debido a un polímero de bajo peso molecular.
- Ayuda a tolerar contaminación de calcio hasta 400ppm

PROPIEDADES CARACTERISTICAS:

- Apariencia: polvo blanco granulado
- Densidad a granel: 50 lb/ft³
- Densidad a granel: 800kg/m³

TRATAMIENTO ACONSEJADO:

- Para fluidos de agua saladas, agregar 1.0 – 3.0 lbs/barril (2.9 – 8.6 kg/m³)
- Para fluidos de agua dulce, agregar 0,25 – 1.0 lbs/barril (0,7 – 2.9 kg/m³)

PRESENTACIÓN: el agente de control de filtrado POLYAC PLUS viene en sacos de 50 lb (22.7 kg)

MATERIAL ANFÓTERO DE BAJO PESO MOLECULAR

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO: material anfótero de bajo peso molecular, ayuda a reducir la dispersión e hidratación de las formaciones de arcillas reactivas y lutitas. El estabilizador de lutitas CLAYSEAL PLUS es estable térmicamente a temperaturas superiores a los 300°F (149 °C), y exhibe un alto punto de inflamación.

APLICACIÓN/FUNCIONES:

- El estabilizador de lutitas CLAYSEAL PLUS se puede utilizar para inhibir la hidratación de arcillas y lutitas.

VENTAJAS:

- Ayuda a reducir las posibilidades de embolamiento de la broca.
- Ayuda a mejorar la eliminación de sólidos de perforación.
- Es efectivo en agua dulce, agua de mar, agua salada, sistemas cálcicos y de bajo contenido de sólidos.
- Es totalmente soluble en agua.

PROPIEDADES CARACTERISTICAS:

- Apariencia: líquido de color ámbar.
- Punto de inflamación: 200°F
- Punto de inflamación: 93°C
- pH: 6 a 8
- Gravedad específica: 1.04

TRATAMIENTO ACONSEJADO:

Agregar 4 -7 lbs/barril (11.4 – 20.0 kg/m³) de estabilizador de lutitas CLAYSEAL PLUS.

• **Notas:**

- Para obtener mejores resultados, es necesaria una cantidad mínima de 4 lbs/barril (11.4 kg/m³) de estabilizador de lutitas CLAYSEAL PLUS.
- Prehidratar todos los agregados de AQUAGEL para conseguir viscosidad y control de filtrado.
- Los tratamientos iniciales en sistemas no dispersos pueden originar una ligera floculación y exigir, en consecuencia, un adelgazante.

PRESENTACIÓN: El estabilizador de lutitas CLAYSEAL PLUS está disponible en baldes de 5 galones (18.9 litros) y en tambores de 55 galones (208 litros) con un peso neto de 459 libras (208 kg).

POLÍMERO EN POLVO DE ALTO PESO MOLECULAR

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO: es un polímero en polvo de alto peso molecular, no iónico, contiene 38% de polímero activo, en forma de emulsión de baja viscosidad que se usa en fluidos de perforación base agua. El aditivo polimérico es un floculante y encapsulador de arcillas. La cadena única de este polímero detiene la dispersión de las lutitas y ayuda a su estabilización en el hueco. Cuando se usa en conjunto con el grupo de polímeros del sistema HYDRO-GUARD este crea un sistema altamente pseudoplastico el cual imparte bajas densidades equivalentes de circulación aun cuando provee excelente reología para la limpieza del hueco.

APLICACIÓN/FUNCIONES:

- Encapsula lutitas y bloquea la absorción de agua es usado junto con el estabilizador e lutitas CLAY FIRM / estabilizador de lutitas CLAY SYNC en sistemas de agua salada.
- Componente primario del sistema HYDRO-GUARD.
- Estable hasta 300°F (149°C)
- Potente floculante total cuando pequeñas cantidades de calcio están presentes (entre 80 y 600 ppm).
- Inhibe la hidratación de las lutitas y estabiliza lutitas problemáticas.

VENTAJAS:

- Facilmente mezclable
- Alcanza su mejor rendimiento rápidamente.
- Ayuda en la floculación, reduciendo de esta manera los valores de MBT y el contenido de solidos coloidales.
- Lubrica el revoque
- Mejora la integridad de los cortes.
- Puede ser usado en agua dulce o salmueras monovalentes.

PROPIEDADES CARACTERISTICAS:

- Apariencia: liquido opaco
- pH, (solución acuosa al 1%): 6.5 a 7.5
- Gravedad especifica: 1.02 a 1.06
- Concentración (% polímero activo): 35 a 40.

TRATAMIENTO ACONEJADO: Para obtener los mejores resultados, el floculante CLAY GRABBER deberá mezclarse a través de un embudo de alto corte. De 0.5 a 1.0 lb/barril (1.4 – 2.9 kg/m³) en el sistema HYDRO-GUARD. De 0.25 a 0.5 lb/barril (0.7 – 1.4 kg/m³) como floculante selectivo para perforación con agua limpia. De 0.5 a 1.0 lb/bbl (1.4 – 2.9 kg/m³) para lutitas problemáticas en un sistema de fluido de perforación base agua. Los pisos y mesas del área de mezcla se pueden hacer resbalosos. Use hipoclorito de sodio al 10% para su limpieza.

PRESENTACIÓN: CLAY GRABBER está disponible en baldes de 5 gal (18.9 l) que contienen 42lbs (19.1 kg) de peso neto y en tanques de 275 gals (1041 l) que contienen 2300 lbs (1043 kg) de peso neto.

SULFATO DE BARIO MOLIDO

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO: El agente densificante, sulfato de bario molido, satisface la especificación 13^a, Sección 2, del Instituto Americano del Petróleo para la baritina de fluidos de perforación. Este agente se puede utilizar para aumentar la densidad de fluidos de perforación base aceite y base agua hasta alcanzar 21lbs/galon (2516 kg/m³).

APLICACIÓN/FUNCIONES:

- Preparar tapones de sólidos para aplicaciones de control de pozos.
- Aumentarla densidad del lodo hasta 21 lbs/gal (2516 kg/m³)
- Controlar las presiones de formación.

- Estabilizar el pozo.

VENTAJAS:

- Estándar de la industria para agentes densificantes de fluidos de perforación.
- Químicamente inerte
- Eficaz desde el punto de vista de los costos.

PROPIEDADES CARACTERISTICAS:

- Apariencia: polvo
- Gravedad específica, mínimo: 4.2

TRATAMIENTO ACONSEJADO: Utilizar las siguientes formulas en peso para determinar las concentraciones adecuadas que se deben agregar al sistema.

- Para un volumen inicial de 1 barril: $X=1470 (Wf-Wi)/(35-Wi)$
- Para un volumen final de 1 barril: $X=1470 (Wf-Wi)/(35-Wf)$
- Dónde:
- X: cantidad necesaria de agente densificante BAROID, lbs/bbl
- Wi: densidad inicial del lodo, lbs/gal
- Wf: densidad final deseada del lodo, lbs/gal.

PRESENTACIÓN: El agente densificante BAROID está disponible en bolsas de 100 lbs (45.4 kg) y a granel.

CARBONATO DE CALCIO DE TAMAÑO SELECCIONADO

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO: carbonato de calcio de tamaño seleccionado, se encuentra disponible en seis tamaños: 5, 25, 50, 150, 600 y 2300.

APLICACIÓN/FUNCIONES:

- BARACARB 5, 25 Y 50 puede utilizarse para:

- Aumentar la densidad de lodos base agua y base aceite.
 - Aumentar la densidad de salmueras
 - Formar puentes para reducir las pérdidas por filtración
- BARACARB 50, 150, 600 Y 2300 puede utilizarse como agentes puenteantes para:
 - Problemas de pérdida de circulación
 - Mezclas para inyección.

VENTAJAS:

- Totalmente soluble en soluciones de HCl 15% (1 galón de HCl disuelve 1.84 lbs de BARACARB).
- Promueve eficazmente la formación de puentes.

PROPIEDADES CARACTERISTICAS:

- Apariencia: polvo o gránulos de color blanco.
- Gravedad específica, aproximadamente: 2.7

ANEXO C. MSDS de los productos

Nombre del producto: Biopolímero líquido (goma de Xanthan)

Familia química: Polisacárido

Aplicación: Espesante

1. IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS

- **Resumen de riesgos** Puede causar irritación de los ojos. Polvo explosivo.

2. PRIMEROS AUXILIOS

- **Inhalación** Si se inhala, saque a la persona del área hacia el aire libre. Procure atención médica si se desarrolla irritación respiratoria o si la respiración se dificulta.
- **Contacto con la piel** Lave con agua y jabón. Si la irritación persiste procure atención médica.
- **Ojos** En caso de contacto, lave de inmediato los ojos con un chorro de agua abundante durante al menos 15 minutos y procure atención médica si la irritación persiste.
- **Ingestión** En condiciones normales no se necesitan procedimientos de primeros auxilios.

3. MEDIDAS POR DERRAME ACCIDENTAL

- **Medidas preventivas personales** Use equipo de protección adecuado Evite crear o respirar el polvo
- **Medidas de prevención ambiental** Ninguna conocida.
- **Procedimiento de limpieza/absorción** Recoja con pala y deseche.

4. MANEJO Y ALMACENAMIENTO

- **Precauciones de manejo** Resbaloso cuando está mojado. Evite generar o inhalar el polvo.

- **Información de almacenamiento** Almacene lejos de los oxidantes. Almacene en un lugar seco y fresco. El producto tiene una vida de almacenamiento de 24 meses.

5. CONTROL DE EXPOSICIÓN/PROTECCIÓN PERSONAL

- **Controles Industriales** Utilice en un sitio bien ventilado.
- **Protección respiratoria** Normalmente no se necesita. Pero si son posibles exposiciones significativas se recomienda el siguiente respirador. Respirador para polvo y aerosoles.
- **Protección para manos** Guantes de trabajo normales.
- **Protección para la piel** Bata normal de trabajo.
- **Protección para ojos** Use lentes o visor de seguridad para protegerse de la exposición.
- **Otras precauciones** Ninguna conocida.

6. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

- **Estado físico:** Polvo
- **Color:** De blanco a blanco hueso
- **Olor:** Ligero
- **pH:** 7 (1%)
- **Gravedad específica a 20 C (Agua=1):** 1.6
- **Densidad a 20 C (lb/galón):** No determinada
- **Densidad a granel a 20 C (lb/ft³):** 52.4
- **Punto/Intervalo de ebullición (F):** No determinado
- **Punto/Intervalo de ebullición (C):** No determinado
- **Intervalo/punto de congelación (F):** No determinado
- **Intervalo/punto de congelación (C):** No determinado
- **Presión de vapor a 20 C (mmHg):** No determinada
- **Densidad del vapor (Aire=1):** No determinada

- **Porcentaje de compuestos volátiles:** No determinado
- **Velocidad de evaporación (acetato de butilo = 1):** No determinada.
- **Solubilidad en agua (g/100ml):** Soluble
- **Solubilidad en disolventes (g/100ml):** No determinada
- **Compuestos orgánicos volátiles (lb/galón):** No determinado
- **Viscosidad dinámica a 20 C (centipoise):** No determinada
- **Viscosidad cinemática a 20 C (centistrokes):** No determinada
- **Constante de reparto: n-octanol/agua:** No determinado
- **Peso molecular (g/mol):** 1,000,000

7. CONSIDERACIONES DE DESECHO

- **Método de desecho** Entierre en un relleno sanitario autorizado según las reglamentaciones locales, estatales y federales.
- **Embalaje contaminado** Siga todos los reglamentos nacionales o locales aplicables.

Nombre comercial del producto: Carbonato de calcio #25

Familia química: Mineral

Aplicación: Agente formador de puentes

1. IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS

Resumen de riesgos

- **¡CUIDADO! - PELIGRO SERIO PARA LA SALUD**

Puede causar irritación de los ojos, la piel y las vías respiratorias.

- **¡PELIGRO! - RIESGO CRÓNICO PARA LA SALUD**

Respirar sílice cristalina puede causar una enfermedad a los pulmones, incluyendo silicosis y cáncer al pulmón. También se ha asociado a la sílice cristalina con escleroderma y enfermedad del riñón. Este producto contiene cuarzo, cristobalita, y/o tridimita los cuales pueden ser transportados por el aire

sin una nube visible. Evite respirar el polvo. Evite crear condiciones de polvo. Úselo solamente con ventilación adecuada para mantener la exposición por debajo de los límites recomendados de exposición. Use un respirador certificado por NIOSH, European Standard En 149 o equivalente cuando utilice este producto. Examine las Hojas de Datos sobre Seguridad de Materiales (MSDS) para este producto, que ha sido suministrado a su patrono.

2. PRIMEROS AUXILIOS

- **Inhalación:** Si se inhala, saque a la persona del área hacia el aire libre. Procure atención médica si se desarrolla irritación respiratoria o si la respiración se dificulta.
- **Contacto con la piel:** Lave con agua y jabón. Si la irritación persiste procure atención médica.
- **Ojos:** En caso de contacto, lave de inmediato los ojos con un chorro de agua abundante durante al menos 15 minutos y procure atención médica si la irritación persiste.
- **Ingestión:** En condiciones normales no se necesitan procedimientos de primeros auxilios.
- **Notas para el personal médico:** No se aplica.

3. MEDIDAS POR DERRAME ACCIDENTAL

- **Medidas preventivas personales** Use equipo de protección adecuado Evite crear o respirar el polvo
- **Medidas de prevención ambiental** Ninguna conocida.
- **Procedimiento de limpieza/absorción** Recójase usando un método que no levante polvo, y guárdese hasta su eliminación en forma apropiada. Considere los posibles efectos tóxicos o peligros de incendio asociados con las sustancias contaminantes y utilice métodos apropiados para la recolección, almacenamiento y eliminación.

4. MANEJO Y ALMACENAMIENTO

- **Precauciones de manejo** Evite el contacto con los ojos, la piel o la ropa. Evite generar o inhalar el polvo. Este producto contiene cuarzo, cristobalita, y/o tridimita los cuales pueden ser transportados por el aire sin una nube visible. Evite respirar el polvo. Evite crear condiciones de polvo. Úselo solamente con ventilación adecuada para mantener la exposición por debajo de los límites recomendados de exposición. Use un respirador certificado por NIOSH, European Standard En 149 o equivalente, cuando utilice este producto. El material es resbaloso cuando está húmedo.
- **Información de almacenamiento** Almacene lejos de los ácidos. Almacene en un lugar seco y fresco. Emplee buenos hábitos de limpieza en las áreas de almacenamiento y de trabajo para impedir la acumulación de polvo. Cierre el recipiente cuando no está en uso. No vuelva a usar el recipiente vacío. El producto tiene una vida de almacenamiento de 60 meses.

5. CONTROL DE EXPOSICIÓN/PROTECCIÓN PERSONAL

- **Controles Industriales** Utilice en un sitio bien ventilado. Use ventilación industrial aprobada y escape local como se requiera para mantener las exposiciones por debajo de los límites de exposición.
- **Protección respiratoria** Use un respirador certificado por NIOSH, European Standard En 149 o equivalente, cuando utilice este producto.
- **Protección para manos** Guantes de trabajo normales.
- **Protección para la piel** Vista ropa adecuada para el medio de trabajo. La ropa polvorienta deberá ser lavada antes de volver a usarla. Use medidas de precaución para evitar crear polvo al quitarse o lavar la ropa.
- **Protección para ojos** Use lentes o visor de seguridad para protegerse de la exposición.

6. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

- **Estado físico:** Sólido Polvo
- **Color:** Blanco
- **Olor:** Inodoro
- **pH:** 8-9
- **Gravedad específica a 20 C (Agua=1):** 2.7
- **Densidad a 20 C (lb/galón):** No determinada
- **Densidad a granel a 20 C (lb/ft³):** 168
- **Punto/Intervalo de ebullición (F):** No determinado
- **Punto/Intervalo de ebullición (C):** No determinado
- **Intervalo/punto de congelación (F):** No determinado
- **Intervalo/punto de congelación (C):** No determinado
- **Presión de vapor a 20 C (mmHg):** No determinada

7. CONSIDERACIONES DE DESECHO

- **Método de desecho** Entierre en un relleno sanitario autorizado según las reglamentaciones locales, estatales y federales.
- **Embalaje contaminado** Siga todos los reglamentos nacionales o locales aplicables.

Nombre comercial del producto: Carbonato de calcio #50

Familia química: Mineral

Aplicación: Agente formador de puentes

1. IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS

- **Resumen de riesgos ¡CUIDADO! - PELIGRO SERIO PARA LA SALUD** Puede causar irritación de los ojos, la piel y las vías respiratorias.
- **¡PELIGRO! - RIESGO CRÓNICO PARA LA SALUD**

Respirar sílice cristalina puede causar una enfermedad a los pulmones, incluyendo silicosis y cáncer al pulmón. También se ha asociado a la sílice cristalina con escleroderma y enfermedad del riñón. Este producto contiene cuarzo, cristobalita, y/o tridimita los cuales pueden ser transportados por el aire sin una nube visible. Evite respirar el polvo. Evite crear condiciones de polvo. Úselo solamente con ventilación adecuada para mantener la exposición por debajo de los límites recomendados de exposición. Use un respirador certificado por NIOSH, European Standard EN 149 o equivalente cuando utilice este producto. Examine las Hojas de Datos sobre Seguridad de Materiales (MSDS) para este producto, que ha sido suministrado a su patrono.

2. PRIMEROS AUXILIOS

- **Inhalación** Si se inhala, saque a la persona del área hacia el aire libre. Procure atención médica si se desarrolla irritación respiratoria o si la respiración se dificulta.
- **Contacto con la piel** Lave con agua y jabón. Si la irritación persiste procure atención médica.
- **Ojos** En caso de contacto, lave de inmediato los ojos con un chorro de agua abundante durante al menos 15 minutos y procure atención médica si la irritación persiste.
- **Ingestión** En condiciones normales no se necesitan procedimientos de primeros auxilios.

3. MEDIDAS POR DERRAME ACCIDENTAL

- **Medidas preventivas personales** Use equipo de protección adecuado Evite crear o respirar el polvo
- **Medidas de prevención ambiental** Ninguna conocida.
- **Procedimiento de limpieza/absorción**

Recójase usando un método que no levante polvo, y guárdese hasta su eliminación en forma apropiada. Considere los posibles efectos tóxicos o peligros de incendio asociados con las sustancias contaminantes y utilice métodos apropiados para la recolección, almacenamiento y eliminación.

4. MANEJO Y ALMACENAMIENTO

- **Precauciones de manejo** Evite el contacto con los ojos, la piel o la ropa. Evite generar o inhalar el polvo. Este producto contiene cuarzo, cristobalita, y/o tridimita los cuales pueden ser transportados por el aire sin una nube visible. Evite respirar el polvo. Evite crear condiciones de polvo. Úselo solamente con ventilación adecuada para mantener la exposición por debajo de los límites recomendados de exposición. Use un respirador certificado por NIOSH, European Standard En 149 o equivalente, cuando utilice este producto. El material es resbaloso cuando está húmedo.
- **Información de almacenamiento** Almacene lejos de los ácidos. Almacene en un lugar seco y fresco. Emplee buenos hábitos de limpieza en las áreas de almacenamiento y de trabajo para impedir la acumulación de polvo. Cierre el recipiente cuando no está en uso. No vuelva a usar el recipiente vacío. El producto tiene una vida de almacenamiento de 60 meses.

5. CONTROL DE EXPOSICIÓN/PROTECCIÓN PERSONAL

- **Controles Industriales** Utilice en un sitio bien ventilado. Use ventilación industrial aprobada y escape local como se requiera para mantener las exposiciones por debajo de los límites de exposición.
- **Protección respiratoria** Use un respirador certificado por NIOSH, European Standard En 149 o equivalente, cuando utilice este producto.
- **Protección para manos** Guantes de trabajo normales.

- **Protección para la piel** Vista ropa adecuada para el medio de trabajo. La ropa polvorienta deberá ser lavada antes de volver a usarla. Use medidas de precaución para evitar crear polvo al quitarse o lavar la ropa.
- **Protección para ojos** Use lentes o visor de seguridad para protegerse de la exposición.

6. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

- **Estado físico:** Sólido Polvo
- **Color:** Blanco
- **Olor:** Inodoro
- **pH:** 8-9
- **Gravedad específica a 20 C (Agua=1):** 2.7
- **Densidad a 20 C (lb/galón):** No determinada
- **Densidad a granel a 20 C (lb/ft³):** 72-112
- **Punto/Intervalo de ebullición (F):** No determinado
- **Punto/Intervalo de ebullición (C):** No determinado
- **Intervalo/punto de congelación (F):** No determinado
- **Intervalo/punto de congelación (C):** No determinado
- **Presión de vapor a 20 C (mmHg):** No determinada
- **Densidad del vapor (Aire=1):** No determinada

7. CONSIDERACIONES DE DESECHO

- **Método de desecho** Entierre en un relleno sanitario autorizado según las reglamentaciones locales, estatales y federales.
- **Embalaje contaminado** Siga todos los reglamentos nacionales o locales aplicables.

Nombre comercial del producto: Carbonato de calcio #150

Familia química: Mineral

Aplicación: Agente formador de puentes

1. IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS

- **Resumen de riesgos ¡CUIDADO! - PELIGRO SERIO PARA LA SALUD** Puede causar irritación de los ojos, la piel y las vías respiratorias.

- **¡PELIGRO! - RIESGO CRÓNICO PARA LA SALUD**

Respirar sílice cristalina puede causar una enfermedad a los pulmones, incluyendo silicosis y cáncer al pulmón. También se ha asociado a la sílice cristalina con escleroderma y enfermedad del riñón. Este producto contiene cuarzo, cristobalita, y/o tridimita los cuales pueden ser transportados por el aire sin una nube visible. Evite respirar el polvo. Evite crear condiciones de polvo. Úselo solamente con ventilación adecuada para mantener la exposición por debajo de los límites recomendados de exposición. Use un respirador certificado por NIOSH, European Standard En 149 o equivalente cuando utilice este producto. Examine las Hojas de Datos sobre Seguridad de Materiales (MSDS) para este producto, que ha sido suministrado a su patrono.

2. PRIMEROS AUXILIOS

- **Inhalación** Si se inhala, saque a la persona del área hacia el aire libre. Procure atención médica si se desarrolla irritación respiratoria o si la respiración se dificulta.
- **Contacto con la piel** Lave con agua y jabón. Si la irritación persiste procure atención médica.
- **Ojos** En caso de contacto, lave de inmediato los ojos con un chorro de agua abundante durante al menos 15 minutos y procure atención médica si la irritación persiste.

- **Ingestión** En condiciones normales no se necesitan procedimientos de primeros auxilios.

3. MEDIDAS POR DERRAME ACCIDENTAL

- **Medidas preventivas personales** Use equipo de protección adecuado Evite crear o respirar el polvo
- **Medidas de prevención ambiental** Ninguna conocida.
- **Procedimiento de limpieza/absorción**

Recójase usando un método que no levante polvo, y guárdese hasta su eliminación en forma apropiada. Considere los posibles efectos tóxicos o peligros de incendio asociados con las sustancias contaminantes y utilice métodos apropiados para la recolección, almacenamiento y eliminación.

4. MANEJO Y ALMACENAMIENTO

- **Precauciones de manejo** Evite el contacto con los ojos, la piel o la ropa. Evite generar o inhalar el polvo. Este producto contiene cuarzo, cristobalita, y/o tridimita los cuales puedenser transportados por el aire sin una nube visible. Evite respirar el polvo. Evite crear condiciones de polvo. Úselo solamente con ventilación adecuada para mantener la exposición por debajo de los límites recomendados de exposición. Use un respirador certificado por NIOSH, European Standard En 149 o equivalente, cuando utilice este producto. El material es resbaloso cuando está húmedo.
- **Información de almacenamiento** Almacene lejos de los ácidos. Almacene en un lugar seco y fresco. Emplee buenos hábitos de limpieza en las áreas de almacenamiento y de trabajo para impedir la acumulación de polvo. Cierre el recipiente cuando no está en uso. No vuelva a usar el recipiente vacío. El producto tiene una vida de almacenamiento de 60 meses.

5. CONTROL DE EXPOSICIÓN/PROTECCIÓN PERSONAL

- **Controles Industriales** Utilice en un sitio bien ventilado. Use ventilación industrial aprobada y escape local como se requiera para mantener las exposiciones por debajo de los límites de exposición.
- **Protección respiratoria** Use un respirador certificado por NIOSH, European Standard En 149 o equivalente, cuando utilice este producto.
- **Protección para manos** Guantes de trabajo normales.
- **Protección para la piel** Vista ropa adecuada para el medio de trabajo. La ropa polvorienta deberá ser lavada antes de volver a usarla. Use medidas de precaución para evitar crear polvo al quitarse o lavar la ropa.
- **Protección para ojos** Use lentes o visor de seguridad para protegerse de la exposición.

6. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

- **Estado físico:** Sólido Polvo
- **Color:** Blanco
- **Olor:** Inodoro
- **pH:** 8-9
- **Gravedad específica a 20 C (Agua=1):** 2.7
- **Densidad a 20 C (lb/galón):** No determinada
- **Densidad a granel a 20 C (lb/ft³):** 168
- **Punto/Intervalo de ebullición (F):** No determinado
- **Punto/Intervalo de ebullición (C):** No determinado
- **Intervalo/punto de congelación (F):** No determinado
- **Intervalo/punto de congelación (C):** No determinado
- **Presión de vapor a 20 C (mmHg):** No determinada
- **Densidad del vapor (Aire=1):** No determinada

7. CONSIDERACIONES DE DESECHO

- **Método de desecho** Entierre en un relleno sanitario autorizado según las reglamentaciones locales, estatales y federales.
- **Embalaje contaminado** Siga todos los reglamentos nacionales o locales aplicables.

Nombre comercial del producto: sulfato de bario molido

Familia química: Mineral

Aplicación: Aditivo de peso

1. IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS

- **Resumen de riesgos ¡CUIDADO! - PELIGRO SERIO PARA LA SALUD** Puede causar irritación de los ojos, la piel y las vías respiratorias.
- **¡PELIGRO! - RIESGO CRÓNICO PARA LA SALUD**

Respirar sílice cristalina puede causar una enfermedad a los pulmones, incluyendo silicosis y cáncer al pulmón. También se ha asociado a la sílice cristalina con escleroderma y enfermedad del riñón. Este producto contiene cuarzo, cristobalita, y/o tridimita los cuales pueden ser transportados por el aire sin una nube visible. Evite respirar el polvo. Evite crear condiciones de polvo. Úselo solamente con ventilación adecuada para mantener la exposición por debajo de los límites recomendados de exposición. Use un respirador certificado por NIOSH, European Standard En 149 o equivalente cuando utilice este producto. Examine las Hojas de Datos sobre Seguridad de Materiales (MSDS) para este producto, que ha sido suministrado a su patrono.

2. PRIMEROS AUXILIOS

- **Inhalación** Si se inhala, saque a la persona del área hacia el aire libre. Procure atención médica si se desarrolla irritación respiratoria o si la respiración se dificulta.

- **Contacto con la piel** Lave con agua y jabón. Si la irritación persiste procure atención médica.
- **Ojos** En caso de contacto, lave de inmediato los ojos con un chorro de agua abundante durante al menos 15 minutos y procure atención médica si la irritación persiste.
- **Ingestión** No induzca el vómito. Diluya lentamente con 1-2 vasos de agua o leche y procure atención médica. No administre nada por vía oral a una persona inconsciente.

3. MEDIDAS POR DERRAME ACCIDENTAL

- **Medidas preventivas personales** Use equipo de protección adecuado Evite crear o respirar el polvo
- **Medidas de prevención ambiental** Ninguna conocida.
- **Procedimiento de limpieza/absorción** Recójase usando un método que no levante polvo, y guárdese hasta su eliminación en forma apropiada. Considere los posibles efectos tóxicos o peligros de incendio asociados con las sustancias contaminantes y utilice métodos apropiados para la recolección, almacenamiento y eliminación.

4. MANEJO Y ALMACENAMIENTO

- **Precauciones de manejo** Este producto contiene cuarzo, cristobalita, y/o tridimita los cuales pueden ser transportados por el aire sin una nube visible. Evite respirar el polvo. Evite crear condiciones de polvo. Úselo solamente con ventilación adecuada para mantener la exposición por debajo de los límites recomendados de exposición. Use un respirador certificado por NIOSH, European Standard En 149 o equivalente, cuando utilice este producto. El material es resbaloso cuando está húmedo.

5. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

- **Estado físico:** Sólido
- **Color:** De rosa a canela a gris
- **Olor:** Inodoro
- **pH:** No determinado
- **Gravedad específica a 20 C (Agua=1):** 4.23
- **Densidad a 20 C (lb/galón):** No determinada
- **Densidad a granel a 20 C (lb/ft³):** 135
- **Punto/Intervalo de ebullición (F):** No determinado
- **Punto/Intervalo de ebullición (C):** No determinado
- **Intervalo/punto de congelación (F):** No determinado
- **Intervalo/punto de congelación (C):** No determinado
- **Presión de vapor a 20 C (mmHg):** No determinada
- **Densidad del vapor (Aire=1):** No determinada
- **Porcentaje de compuestos volátiles:** No determinado
- **Velocidad de evaporación (acetato de butilo = 1):** No determinada.
- **Solubilidad en agua (g/100ml):** Insoluble
- **Solubilidad en disolventes (g/100ml):** No determinada
- **Compuestos orgánicos volátiles (lb/galón):** No determinado
- **Viscosidad dinámica a 20 C (centipoise):** No determinada
- **Viscosidad cinemática a 20 C (centistrokes):** No determinada
- **Constante de reparto: n-octanol/agua:** No determinado
- **Peso molecular (g/mol):** 233.4

6. CONSIDERACIONES DE DESECHO

- **Método de desecho** Entierre en un relleno sanitario autorizado según las reglamentaciones locales, estatales y federales.
- **Embalaje contaminado** Siga todos los reglamentos nacionales o locales aplicables.

Nombre comercial del producto: Inhibidor

Familia química: Mezcla

Aplicación: Estabilizador de esquisto

1. IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS

- **Resumen de riesgos** Puede producir irritación ocular grave. Puede causar irritación de la piel y las vías respiratorias. Puede resultar peligroso si se ingiere.

2. PRIMEROS AUXILIOS

- **Inhalación** Si se inhala, saque a la persona del área hacia el aire libre. Procure atención médica si se desarrolla irritación respiratoria o si la respiración se dificulta.
- **Contacto con la piel** En caso de contacto, lave inmediatamente la piel con agua y jabón abundantes durante al menos 15 minutos. Procure atención médica. Quítese la ropa contaminada y lávela antes de volver a usarla.
- **Ojos** En caso de contacto o posible contacto lave de inmediato los ojos con un chorro de agua abundante durante al menos 15 minutos y procure atención médica inmediatamente después de lavar.
- **Ingestión** No induzca el vómito. Diluya lentamente con 1-2 vasos de agua o leche y procure atención médica. No administre nada por vía oral a una persona inconsciente.

3. MEDIDAS POR DERRAME ACCIDENTAL

- **Medidas preventivas personales** Spills of this product are very slippery. Use equipo de protección adecuado
- **Medidas de prevención ambiental** Evite que entre en drenajes, vías de agua y áreas bajas.
- **Procedimiento de limpieza/absorción** Aísle el derrame y detenga la fuga donde resulte seguro Contenga el derrame con arena u otro material inerte Recoja con pala y deseche.

4. MANEJO Y ALMACENAMIENTO

- **Precauciones de manejo** Evite el contacto con los ojos, la piel o la ropa. Mantenga buenos hábitos de limpieza en las zonas de almacenamiento y de trabajo para evitar la acumulación de polvo. El material es resbaladizo al caminar sobre él.
- **Información de almacenamiento** Almacene en un área fresca y bien ventilada. Mantenga cerrado el recipiente cuando no lo use. Almacenar a temperaturas entre los 40 y 90 F (5 y 35 C). El producto tiene una vida de almacenamiento de 36 meses.

5. CONTROL DE EXPOSICIÓN/PROTECCIÓN PERSONAL

- **Controles Industriales** Utilice en un sitio bien ventilado.
- **Protección respiratoria** Normalmente no se necesita. Pero si son posibles exposiciones significativas se recomienda el siguiente respirador. Respirador para polvo y aerosoles. (N95,P2/P3)
- **Protección para manos** Guantes de hule impermeables. Guantes de neopreno. Guantes de hule butadieno/acrilonitrilo. Guantes de hule de butilo
- **Protección para la piel** Ropa protectora completa. Delantal de hule.
- **Protección para ojos** Visor químico, use también una careta si hubiera riesgos de salpicaduras.
- **Otras precauciones** Los lavajos y las regaderas de seguridad deben estar en lugares accesibles.

6. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

- **Estado físico:** Líquido
- **Color:** Oscuro Amarillo

- **Olor:** Moderado
- **pH:** 11.9
- **Gravedad específica a 20 C (Agua=1):** 1.36
- **Densidad a 20 C (lb/galón):** 11.33
- **Densidad a granel a 20 C (lb/ft³):** No determinada
- **Punto/Intervalo de ebullición (F):** 212
- **Punto/Intervalo de ebullición (C):** 100
- **Intervalo/punto de congelación (F):** No determinado
- **Intervalo/punto de congelación (C):** No determinado
- **Presión de vapor a 20 C (mmHg):** No determinada
- **Densidad del vapor (Aire=1):** No determinada
- **Porcentaje de compuestos volátiles:** No determinado
- **Velocidad de evaporación (acetato de butilo = 1):** No determinada.
- **Solubilidad en agua (g/100ml):** Miscible
- **Solubilidad en disolventes (g/100ml):** No determinada
- **Compuestos orgánicos volátiles (lb/galón):** No determinado
- **Viscosidad dinámica a 20 C (centipoise):** 63
- **Viscosidad cinemática a 20 C (centistrokes):** No determinada
- **Constante de reparto: n-octanol/agua:** No determinado
- **Peso molecular (g/mol):** No determinado

7. CONSIDERACIONES DE DESECHO

- **Método de desecho** La eliminación de residuos se hará según las reglamentaciones locales, estatales y federales.
- **Embalaje contaminado** Siga todos los reglamentos nacionales o locales aplicables.

Nombre comercial del producto: Polímero líquido de alto peso molecular

Familia química: Polímero

Aplicación: Espesante

1. IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS

- **Resumen de riesgos** Puede causar irritación de los ojos, la piel y las vías respiratorias. Puede causar dolor de cabeza, mareo y otros efectos sobre el sistema nervioso central. Puede resultar peligroso si se ingiere.

2. PRIMEROS AUXILIOS

- **Inhalación** Si se inhala, saque a la persona del área hacia el aire libre. Procure atención médica si se desarrolla irritación respiratoria o si la respiración se dificulta.
- **Contacto con la piel** Lave con agua y jabón. Si la irritación persiste procure atención médica.
- **Ojos** En caso de contacto, lave de inmediato los ojos con un chorro de agua abundante durante al menos 25 minutos y procure atención médica si la irritación persiste.
- **Ingestión** No induzca el vómito. Diluya lentamente con 1-2 vasos de agua o leche y procure atención médica. No administre nada por vía oral a una persona inconsciente.

3. MEDIDAS POR DERRAME ACCIDENTAL

- **Medidas preventivas personales** Use equipo de protección adecuado
- **Medidas de prevención ambiental** Evite que entre en drenajes, vías de agua y áreas bajas.
- **Procedimiento de limpieza/absorción** Aísle el derrame y detenga la fuga donde resulte seguro Contenga el derrame con arena u otro material inerte Recoja con pala y deseche.

4. MANEJO Y ALMACENAMIENTO

- **Precauciones de manejo** Evite el contacto con los ojos, la piel o la ropa. Evite respirar los vapores. Lávese las manos después de usar. Lave la ropa contaminada antes de volver a usarla.
- **Información de almacenamiento** Almacene lejos de los oxidantes. Proteja del calor, las chispas y las llamas abiertas. Mantenga cerrado el recipiente cuando no lo use. No permita que se congele. El producto tiene una vida de almacenamiento de 6 meses.

5. CONTROL DE EXPOSICIÓN/PROTECCIÓN PERSONAL

- **Controles Industriales** Utilice en un sitio bien ventilado.
- **Protección respiratoria** Normalmente no se necesita. Pero si son posibles exposiciones significativas se recomienda el siguiente respirador. Respirador para vapores orgánicos.
- **Protección para manos** Guantes de hule impermeables.
- **Protección para la piel** Bata normal de trabajo.
- **Protección para ojos** Use lentes o visor de seguridad para protegerse de la exposición.

6. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

- **Estado físico:** Líquido
- **Color:** Blanco hueso
- **Olor:** Moderado a hidrocarburo
- **pH:** 6.5 - 7.5
- **Gravedad específica a 20 C (Agua=1):** 1.04
- **Densidad a 20 C (lb/galón):** 8.7
- **Densidad a granel a 20 C (lb/ft³):** No determinada
- **Punto/Intervalo de ebullición (F):** No determinado
- **Punto/Intervalo de ebullición (C):** No determinado
- **Intervalo/punto de congelación (F):** 5

- **Intervalo/punto de congelación (C):** -15
- **Presión de vapor a 20 C (mmHg):** 0.002
- **Densidad del vapor (Aire=1):** No determinada
- **Porcentaje de compuestos volátiles:** No determinado
- **Velocidad de evaporación (acetato de butilo = 1):** No determinada.
- **Solubilidad en agua (g/100ml):** Miscible
- **Solubilidad en disolventes (g/100ml):** No determinada
- **Compuestos orgánicos volátiles (lb/galón):** No determinado
- **Viscosidad dinámica a 20 C (centipoise):** 75- 125
- **Viscosidad cinemática a 20 C (centistrokes):** No determinada
- **Constante de reparto: n-octanol/agua:** No determinado
- **Peso molecular (g/mol):** No determinado

7. CONSIDERACIONES DE DESECHO

- **Método de desecho** La eliminación de residuos se hará según las reglamentaciones locales, estatales y federales.
- **Embalaje contaminado** Siga todos los reglamentos nacionales o locales aplicables.

Nombre comercial del producto: Material anfótero de bajo peso molecular

Familia química: Poliamida etoxilada

Aplicación: Estabilizador de esquistos

1. IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS

- **Resumen de riesgos** Puede causar irritación de los ojos, la piel y las vías respiratorias. Puede causar dolor de cabeza, mareo y otros efectos sobre el sistema nervioso central. Puede resultar peligroso si se ingiere.

2. PRIMEROS AUXILIOS

- **Inhalación** Si el producto se inhala, traslade la víctima a un sitio bien ventilado. Si ésta no respira, practique respiración artificial, preferentemente boca a boca. Si respira con dificultad, administre oxígeno. Procure atención médica.
- **Contacto con la piel** En caso de contacto, lave inmediatamente la piel con agua y jabón abundantes durante al menos 15 minutos. Procure atención médica. Quítese la ropa contaminada y lávela antes de volver a usarla.
- **Ojos** En caso de contacto o posible contacto lave de inmediato los ojos con un chorro de agua abundante durante al menos 15 minutos y procure atención médica inmediatamente después de lavar.
- **Ingestión** No induzca el vómito. Diluya lentamente con 1-2 vasos de agua o leche y procure atención médica. No administre nada por vía oral a una persona inconsciente.

3. MEDIDAS POR DERRAME ACCIDENTAL

- **Medidas preventivas personales** Use equipo de protección adecuado
- **Medidas de prevención ambiental** Evite que entre en drenajes, vías de agua y áreas bajas.
- **Procedimiento de limpieza/absorción** Aísle el derrame y detenga la fuga donde resulte seguro. Contenga el derrame con arena u otro material inerte. Recoja con pala y deseche.

4. MANEJO Y ALMACENAMIENTO

- **Precauciones de manejo** Evite el contacto con los ojos, la piel o la ropa. Evite respirar los vapores. Lávese las manos después de usar. Lave la ropa contaminada antes de volver a usarla.
- **Información de almacenamiento** Almacene en un área fresca y bien ventilada. Mantenga cerrado el recipiente cuando no lo use. Almacene lejos de los oxidantes. Almacene lejos de los álcalis. El producto tiene una vida de almacenamiento de 36 meses.

5. CONTROL DE EXPOSICIÓN/PROTECCIÓN PERSONAL

- **Controles Industriales** Utilice en un sitio bien ventilado.
- **Protección respiratoria** Normalmente no se necesita. Pero si son posibles exposiciones significativas se recomienda el siguiente respirador. Respirador para vapores orgánicos/gases ácidos.
- **Protección para manos** Guantes de hule impermeables.
- **Protección para la piel** Delantal de hule.
- **Protección para ojos** Visor químico, use también una careta si hubiera riesgos de salpicaduras.
- **Otras precauciones** Los lavajos y las regaderas de seguridad deben estar en lugares accesibles.

6. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

- **Estado físico:** Líquido
- **Color:** Amarillo ligero claro
- **Olor:** A amina
- **pH:** 8-9
- **Gravedad específica a 20 C (Agua=1):** 1.0261 - 1.0561
- **Densidad a 20 C (lb/galón):** 8.67
- **Densidad a granel a 20 C (lb/ft³):** 64.9

- **Punto/Intervalo de ebullición (F):** No determinado
- **Punto/Intervalo de ebullición (C):** No determinado
- **Intervalo/punto de congelación (F):** 15
- **Intervalo/punto de congelación (C):** -9
- **Presión de vapor a 20 C (mmHg):** No determinada
- **Densidad del vapor (Aire=1):** No determinada
- **Porcentaje de compuestos volátiles:** No determinado
- **Velocidad de evaporación (acetato de butilo = 1):** No determinada.
- **Solubilidad en agua (g/100ml):** Soluble
- **Solubilidad en disolventes (g/100ml):** No determinada
- **Compuestos orgánicos volátiles (lb/galón):** No determinado
- **Viscosidad dinámica a 20 C (centipoise):** 2-15
- **Viscosidad cinemática a 20 C (centistrokes):** No determinada
- **Constante de reparto: n-octanol/agua:** No determinado
- **Peso molecular (g/mol):** No determinado

7. CONSIDERACIONES DE DESECHO

- **Método de desecho** La eliminación de residuos se hará según las reglamentaciones locales, estatales y federales.
- **Embalaje contaminado** Siga todos los reglamentos nacionales o locales aplicables.

Nombre comercial del producto: Ácido graso de talloil modificado

Familia química: Hidrocarburo orgánico

Aplicación: Lubricante

1. IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS

- **Resumen de riesgos** Puede causar irritación de los ojos, la piel y las vías respiratorias. Puede causar dolor de cabeza, mareo y otros efectos sobre el sistema nervioso central. Puede resultar peligroso si se ingiere. Combustible

2. PRIMEROS AUXILIOS

- **Inhalación** Si el producto se inhala, traslade la víctima a un sitio bien ventilado. Si ésta no respira, practique respiración artificial, preferentemente boca a boca. Si respira con dificultad, administre oxígeno. Procure atención médica.
- **Contacto con la piel** Lave con agua y jabón. Si la irritación persiste procure atención médica. Quítese la ropa contaminada y lávela antes de volver a usarla.
- **Ojos** En caso de contacto, lave de inmediato los ojos con un chorro de agua abundante durante al menos 15 minutos y procure atención médica si la irritación persiste.
- **Ingestión** ¡Procure atención médica! Si vomita mantenga la cabeza más baja que la cadera para evitar la aspiración.

3. MEDIDAS POR DERRAME ACCIDENTAL

- **Medidas preventivas personales** Use equipo de protección adecuado Use respirador autónomo en áreas cerradas.
- **Medidas de prevención ambiental** Evite que entre en drenajes, vías de agua y áreas bajas.
- **Procedimiento de limpieza/absorción** Aísle el derrame y detenga la fuga donde resulte seguro Elimine las fuentes de ignición y trabaje con herramientas que no produzcan chispas. Contenga el derrame con arena u otro material inerte Recoja con pala y deseche.

4. MANEJO Y ALMACENAMIENTO

- **Precauciones de manejo** Evite el contacto con los ojos, la piel o la ropa. Evite respirar los vapores. Lave la ropa contaminada antes de volver a usarla. Lávese

las manos después de usar. No abra los contenedores de almacenamiento o ingrese en espacios cerrados sin ventilación adecuada y protección respiratoria debido a la acumulación de sulfuro de hidrógeno.

- **Información de almacenamiento** Almacene lejos de los oxidantes. Almacene en un área fresca y bien ventilada. Proteja del calor, las chispas y las llamas abiertas. Mantenga cerrado el recipiente cuando no lo use. El producto tiene una vida de almacenamiento de 36 meses.

5. CONTROL DE EXPOSICIÓN/PROTECCIÓN PERSONAL

- **Controles Industriales** Utilice en un sitio bien ventilado. Se debe utilizar extracción local en áreas que no tengan buena ventilación cruzada.
- **Protección respiratoria** Normalmente no se necesita. Pero si son posibles exposiciones significativas se recomienda el siguiente respirador. Respirador para vapores orgánicos.
- **Protección para manos** Guantes de hule impermeables.
- **Protección para la piel** Delantal de hule.
- **Protección para ojos** Visor químico, use también una careta si hubiera riesgos de salpicaduras.
- **Otras precauciones** Los lavajos y las regaderas de seguridad deben estar en lugares accesibles.

6. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

- **Estado físico:** Líquido
- **Color:** Café negruzco
- **Olor:** Cáustico
- **pH:** 4.5
- **Gravedad específica a 20 C (Agua=1):** 0.94
- **Densidad a 20 C (lb/galón):** 7.8
- **Densidad a granel a 20 C (lb/ft³):** No determinada
- **Punto/Intervalo de ebullición (F):** 302

- **Punto/Intervalo de ebullición (C):** 150
- **Intervalo/punto de congelación (F):** -4
- **Intervalo/punto de congelación (C):** -20
- **Presión de vapor a 20 C (mmHg):** No determinada
- **Densidad del vapor (Aire=1):** No determinada
- **Porcentaje de compuestos volátiles:** No determinado
- **Velocidad de evaporación (acetato de butilo = 1):** No determinada.
- **Solubilidad en agua (g/100ml):** Insoluble
- **Solubilidad en disolventes (g/100ml):** No determinada
- **Compuestos orgánicos volátiles (lb/galón):** No determinado
- **Viscosidad dinámica a 20 C (centipoise):** 500-1000
- **Viscosidad cinemática a 20 C (centistrokes):** No determinada
- **Constante de reparto: n-octanol/agua:** No determinado
- **Peso molecular (g/mol):** No determinado

7. CONSIDERACIONES DE DESECHO

- **Método de desecho** La eliminación de residuos se hará según las reglamentaciones locales, estatales y federales.
- **Embalaje contaminado** Siga todos los reglamentos nacionales o locales aplicables.

Nombre comercial del producto: Celulosa polianionica

Familia química: Carbohidrato

Aplicación: Reductor de filtrado

1. IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS

- **Resumen de riesgos** Puede causar irritación de los ojos, la piel y las vías respiratorias. Polvo suspendido en el aire puede ser explosivo.

2. PRIMEROS AUXILIOS

- **Inhalación** Si se inhala, saque a la persona del área hacia el aire libre. Procure atención médica si se desarrolla irritación respiratoria o si la respiración se dificulta.
- **Contacto con la piel** Lave con agua y jabón. Si la irritación persiste procure atención médica.
- **Ojos** En caso de contacto, lave de inmediato los ojos con un chorro de agua abundante durante al menos 25 minutos y procure atención médica si la irritación persiste.
- **Ingestión** En condiciones normales no se necesitan procedimientos de primeros auxilios.

3. MEDIDAS POR DERRAME ACCIDENTAL

- **Medidas preventivas personales** Evite crear o respirar el polvo
- **Medidas de prevención ambiental** Ninguna conocida.
- **Procedimiento de limpieza/absorción** Recoja con pala y deseche.

4. MANEJO Y ALMACENAMIENTO

- **Precauciones de manejo** Evite generar o inhalar el polvo. Evite que el polvo se acumule. Resbaloso cuando está mojado.
- **Información de almacenamiento** Almacene lejos de los oxidantes. Almacene en un lugar seco. El producto tiene una vida de almacenamiento de 36 meses.

5. CONTROL DE EXPOSICIÓN/PROTECCIÓN PERSONAL

- **Controles Industriales** Una zona bien ventilada para controlar los niveles de polvo. Se debe utilizar extracción local en áreas que no tengan buena ventilación cruzada.
- **Protección respiratoria** Normalmente no se necesita. Pero si son posibles exposiciones significativas se recomienda el siguiente respirador. Respirador para polvo y aerosoles. (N95,P2/P3)

- **Protección para manos** Guantes de trabajo normales.
- **Protección para la piel** Bata normal de trabajo.

6. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

- **Estado físico:** Polvo
- **Color:** De blanco a blanco hueso
- **Olor:** Inodoro
- **pH:** 6.5-9 (1%)
- **Gravedad específica a 20 C (Agua=1):** 1.6
- **Densidad a 20 C (lb/galón):** No determinada
- **Densidad a granel a 20 C (lb/ft³):** 40-55
- **Punto/Intervalo de ebullición (F):** No determinado
- **Punto/Intervalo de ebullición (C):** No determinado
- **Intervalo/punto de congelación (F):** No determinado
- **Intervalo/punto de congelación (C):** No determinado
- **Presión de vapor a 20 C (mmHg):** No determinada
- **Densidad del vapor (Aire=1):** No determinada
- **Porcentaje de compuestos volátiles:** No determinado
- **Velocidad de evaporación (acetato de butilo = 1):** No determinada.
- **Solubilidad en agua (g/100ml):** Forma un gel
- **Solubilidad en disolventes (g/100ml):** No determinada
- **Compuestos orgánicos volátiles (lb/galón):** No determinado
- **Viscosidad dinámica a 20 C (centipoise):** No determinada
- **Viscosidad cinemática a 20 C (centistrokes):** No determinada
- **Constante de reparto: n-octanol/agua:** No determinado
- **Peso molecular (g/mol):** No determinado

7. CONSIDERACIONES DE DESECHO

- **Método de desecho** La eliminación de residuos se hará según las reglamentaciones locales, estatales y federales.
- **Embalaje contaminado** Siga todos los reglamentos nacionales o locales aplicables.

Nombre comercial del producto: Celulosa polianionica de alto peso molecular

Familia química: Polisacárido

Aplicación: Reductor de filtrado

1. IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS

- **Resumen de riesgos** Puede causar irritación de los ojos, la piel y las vías respiratorias. Polvo suspendido en el aire puede ser explosivo.

2. PRIMEROS AUXILIOS

- **Inhalación** Si se inhala, saque a la persona del área hacia el aire libre. Procure atención médica si se desarrolla irritación respiratoria o si la respiración se dificulta.
- **Contacto con la piel** Lave con agua y jabón. Si la irritación persiste procure atención médica.
- **Ojos** En caso de contacto, lave de inmediato los ojos con un chorro de agua abundante durante al menos 25 minutos y procure atención médica si la irritación persiste.
- **Ingestión** En condiciones normales no se necesitan procedimientos de primeros auxilios.

3. MEDIDAS POR DERRAME ACCIDENTAL

- **Medidas preventivas personales** Evite crear o respirar el polvo

- **Medidas de prevención ambiental** Evite que entre en drenajes, vías de agua y áreas bajas.
- **Procedimiento de limpieza/absorción** Recoja con pala y deseche.

4. MANEJO Y ALMACENAMIENTO

- **Precauciones de manejo** Evite generar o inhalar el polvo. Evite que el polvo se acumule. Resbaloso cuando está mojado.
- **Información de almacenamiento** Almacene lejos de los oxidantes. Almacene en un lugar seco. El producto tiene una vida de almacenamiento de 36 meses.

5. CONTROL DE EXPOSICIÓN/PROTECCIÓN PERSONAL

- **Controles Industriales** Una zona bien ventilada para controlar los niveles de polvo. Se debe utilizar extracción local en áreas que no tengan buena ventilación cruzada.
- **Protección respiratoria** Normalmente no se necesita. Pero si son posibles exposiciones significativas se recomienda el siguiente respirador. Respirador para polvo y aerosoles. (N95,P2/P3)
- **Protección para manos** Guantes de trabajo normales.

6. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

- **Estado físico:** Sólido Polvo
- **Color:** De blanco a blanco hueso
- **Olor:** Inodoro
- **pH:** 6.5-9 (1%)
- **Gravedad específica a 20 C (Agua=1):** 1.6
- **Densidad a 20 C (lb/galón):** No determinada
- **Densidad a granel a 20 C (lb/ft³):** 40-55
- **Punto/Intervalo de ebullición (F):** No determinado
- **Punto/Intervalo de ebullición (C):** No determinado

- **Intervalo/punto de congelación (F):** No determinado
- **Intervalo/punto de congelación (C):** No determinado
- **Presión de vapor a 20 C (mmHg):** No determinada
- **Densidad del vapor (Aire=1):** No determinada
- **Porcentaje de compuestos volátiles:** No determinado
- **Velocidad de evaporación (acetato de butilo = 1):** No determinada.
- **Solubilidad en agua (g/100ml):** Soluble
- **Solubilidad en disolventes (g/100ml):** No determinada
- **Compuestos orgánicos volátiles (lb/galón):** No determinado
- **Viscosidad dinámica a 20 C (centipoise):** No determinada
- **Viscosidad cinemática a 20 C (centistrokes):** No determinada
- **Constante de reparto: n-octanol/agua:** No determinado
- **Peso molecular (g/mol):** No determinado

7. CONSIDERACIONES DE DESECHO

- **Método de desecho** La eliminación de residuos se hará según las reglamentaciones locales, estatales y federales.
- **Embalaje contaminado** Siga todos los reglamentos nacionales o locales aplicables.

Nombre comercial del producto: Polímero acrílico modificado

Familia química: Polímero

Aplicación: Aditivo

1. IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS

- **Resumen de riesgos** Puede causar irritación de los ojos y la piel. Polvo explosivo.

2. PRIMEROS AUXILIOS

- **Inhalación** Si se inhala, saque a la persona del área hacia el aire libre. Procure atención médica si se desarrolla irritación respiratoria o si la respiración se dificulta.
- **Contacto con la piel** Lave con agua y jabón. Si la irritación persiste procure atención médica.
- **Ojos** En caso de contacto, lave de inmediato los ojos con un chorro de agua abundante durante al menos 15 minutos y procure atención médica si la irritación persiste.
- **Ingestión** No induzca el vómito. Diluya lentamente con 1-2 vasos de agua o leche y procure atención médica. No administre nada por vía oral a una persona inconsciente.

3. MEDIDAS POR DERRAME ACCIDENTAL

- **Medidas preventivas personales** Use equipo de protección adecuado Evite crear o respirar el polvo Resbaloso cuando está mojado
- **Medidas de prevención ambiental** Ninguna conocida.
- **Procedimiento de limpieza/absorción** Recoja con pala y deseche.

4. MANEJO Y ALMACENAMIENTO

- **Precauciones de manejo** Evite el contacto con los ojos, la piel o la ropa. Evite generar o inhalar el polvo. Resbaloso cuando está mojado.
- **Información de almacenamiento** Almacene lejos de los oxidantes. Almacene en un lugar seco y fresco.

5. CONTROL DE EXPOSICIÓN/PROTECCIÓN PERSONAL

- **Controles Industriales** Utilice en un sitio bien ventilado.
- **Protección respiratoria** Normalmente no se necesita. Pero si son posibles exposiciones significativas se recomienda el siguiente respirador. Respirador para polvo y aerosoles.

- **Protección para manos** Guantes de trabajo normales.
- **Protección para la piel** Bata normal de trabajo.
- **Protección para ojos** Use lentes o visor de seguridad para protegerse de la exposición.

6. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

- **Estado físico:** Sólido
- **Color:** Blanco hueso
- **Olor:** Inodoro
- **pH:** 6-7 @ 1%
- **Gravedad específica a 20 C (Agua=1):** 1.5
- **Densidad a 20 C (lb/galón):** No determinada
- **Densidad a granel a 20 C (lb/ft³):** 50
- **Punto/Intervalo de ebullición (F):** No determinado
- **Punto/Intervalo de ebullición (C):** No determinado
- **Intervalo/punto de congelación (F):** No determinado
- **Intervalo/punto de congelación (C):** No determinado
- **Presión de vapor a 20 C (mmHg):** No determinada
- **Densidad del vapor (Aire=1):** No determinada
- **Porcentaje de compuestos volátiles:** No determinado
- **Velocidad de evaporación (acetato de butilo = 1):** No determinada.
- **Solubilidad en agua (g/100ml):** Soluble
- **Solubilidad en disolventes (g/100ml):** No determinada
- **Compuestos orgánicos volátiles (lb/galón):** No determinado
- **Viscosidad dinámica a 20 C (centipoise):** No determinada
- **Viscosidad cinemática a 20 C (centistokes):** No determinada
- **Constante de reparto: n-octanol/agua:** No determinado
- **Peso molecular (g/mol):** 250,000

7. CONSIDERACIONES DE DESECHO

- **Método de desecho** La eliminación de residuos se hará según las reglamentaciones locales, estatales y federales.
- **Embalaje contaminado** Siga todos los reglamentos nacionales o locales aplicables.