

**EVALUACIÓN TÉCNICA DE NANOMATERIALES COMO UNA SOLUCIÓN A  
PROBLEMAS OPERACIONALES DURANTE LA PERFORACIÓN**

**JULIAN CAMILO PARRA TORRES**

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

**2014**

**EVALUACIÓN TÉCNICA DE NANOMATERIALES COMO UNA SOLUCIÓN A  
PROBLEMAS OPERACIONALES DURANTE LA PERFORACIÓN**

**JULIAN CAMILO PARRA TORRES**

**Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de ingeniero  
de petróleos**

**Director:**

**Ing. OSCAR FERNANDO LOPEZ SILVA**

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

**2014**

## DEDICATORIA

*A mis padres*

*A mi familia*

*A ti (Lina)*

## **AGRADECIMIENTOS**

Al ingeniero óscar Fernando López, por su orientación durante el proyecto y colaboración para realizar las pruebas de laboratorio.

A Wheatherford Colombia. Por permitirme desarrollar las pruebas de laboratorio, especialmente a la ingeniera Aleyda Santamaría por su acompañamiento durante este proceso.

A todas las personas con las cuales compartí durante mi periodo académico en la Universidad Industrial de Santander.

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN	18
1. NANOMATERIALES	19
1.1 INTRODUCCIÓN A LOS NANOMATERIALES.	19
1.2 NANOTECNOLOGÍA	20
1.3 PROPIEDADES DE NANOMATERIALES	20
1.3.1 Propiedades Físicas	20
1.3.2 Propiedades químicas	20
1.4 NANOSILICE	21
1.5 PRODUCTOS DE NANOSÍLICE SELECCIONADOS	22
2. PROPIEDADES GEOLÓGICAS DE LAS FORMACIONES ARCILLOSAS	24
2.1 GENERALIDADES DE LAS ARCILLAS	24
2.2 CLASIFICACIÓN DE LAS ARCILLAS	25
2.2.1 Arcillas hidratables y dispersables	26
2.2.2 Arcillas quebradizas	26
2.2.3 Arcillas bajo presión	26
2.2.4 Arcillas bajo esfuerzos tectónicos	27
2.3 MINERALES ARCILLOSOS	28
2.3.1 Estructura de las arcillas	28
2.4 MINERALES ARCILLOSOS HIDRATABLES	31
2.4.1 Esmectita	31
2.4.2 Montmorillonita	32
2.4.3 Vermiculita	34
2.5 MINERALES ARCILLOSOS NO HIDRATABLES	34

2.5.1 Caolinita	34
2.5.2 Illita	35
2.5.3 Clorita	37
2.6 PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS DE LAS ARCILLAS	38
2.6.1 Intercambio catiónico CEC	39
2.6.2 Hidratación	40
2.6.3 Adsorción	42
2.6.4 Tamaño de la partícula	42
2.6.5 Plasticidad	43
2.6.6 Tixotropía	44
2.7 PROCESOS DE ENLACE DE LAS PARTICULAS DE ARCILLA.	44
2.7.1 Agregación	44
2.7.2 Dispersión	45
2.7.3 Floculación	46
2.7.4 Estado de Hidratación	47
2.8 FORMACIONES GEOLÓGICAS ARCILLOSAS COLOMBIANAS	49
2.8.1 Formación Guayabo	49
2.8.2 Formación León	49
3. PROBLEMAS OPERACIONALES	51
3.1 ESTABILIDAD DEL POZO.	51
3.1.1 Esfuerzos mecánicos	51
3.1.2 Esfuerzos químicos	52
3.2 FACTORES QUE FAVORECEN LA INESTABILIDAD DEL POZO	52
3.2.1 Baja permeabilidad de las arcillas	52
3.2.2 Efectos capilares	52
3.2.3 Osmosis	53
3.2.4 Presión de poro	53
3.2.5 Peso del lodo de perforación	54
3.2.6 Plasticidad de las rocas	54

3.2.7 Hinchamiento de arcillas	55
3.2.8 Pega de tubería	56
3.2.9 Deshidratación de arcillas	57
3.2 PERDIDAS DE CIRCULACIÓN	57
3.2.1 Pérdidas de circulación inducidas	58
3.2.2 Perdidas de circulación naturales	59
4. PRUEBAS DE LABORATORIO	60
4.1 REOLOGÍA.	60
4.1.1 Procedimiento para la determinación de la viscosidad aparente, la viscosidad plástica y el punto de cedente.	61
4.1.2 Procedimiento para la determinación del esfuerzo de gel.	62
4.2 FILTRACIÓN.	63
4.2.1 Filtración a baja presión – baja temperatura	63
4.2.1.1 Procedimiento:	63
4.2.2 Filtración a alta presión - alta temperatura (HPHT)	64
4.2.2.1 Procedimiento filtro prensa de ATAP de estilo API # I :	65
4.2.2.2 Procedimiento filtro prensa temperaturas inferiores a 300°F <sup>x</sup> .	66
4.3 PERMEABILITY PLUGGING TEST (PPT).	67
4.3.1 Procedimiento	69
4.4 HINCHAMIENTO LINEAL	72
4.4.1 Procedimiento	72
4.4.2 Preparación de la muestra	75
4.4.3 Preparación de muestras de núcleos reconstruidos	75
4.4.4 Compactación de la lutita	77
4.4.5 Medición del hinchamiento lineal.	78
4.4.5.1 Instalación del núcleo de lutita en el SLM	78
4.4.5.2 Encender el computador e iniciar el programa LSM	79

5. IMPLEMENTACIÓN DE NANOMATERIALES Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.	81
5.1 IMPLEMENTACIÓN DE NANOMATERIALES.	81
5.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO	84
5.2.1 Hinchamiento Lineal.	84
5.2.2 Reología	87
5.2.3 Filtrado API.	94
5.2.4 Filtración a alta presión - alta temperatura (HPHT).	96
5.2.5 Permeability Plugging Test (PPT).	97
5.3 DISEÑO DE UN FLUIDO IMPLEMENTACIÓN DE NANOMATERIALES.	98
6. CONCLUSIONES	100
7. RECOMENDACIONES	101
BIBLIOGRAFÍA	102
ANEXOS	104

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Nanosílice en estado líquido.	21
Figura 2. Escaneo electrónico del nanosílice.	22
Figura 3. Productos de nanosílice.	23
Figura 4. Diagrama estructural de la sílica tetraédrica y la red hexagonal	29
Figura 5. Diagrama estructural de una lámina octaédrica de aluminio	30
Figura 6. Comparación de la estructura de las arcillas	31
Figura 7. Esmectita	32
Figura 8. Montmorillonita.	33
Figura 9. Vermiculita.	34
Figura 10. Caolinita.	35
Figura 11. Illita	36
Figura 12. Clorita.	37
Figura 13. Agregación	45
Figura 14. Dispersión	46
Figura 15. Floculación	47
Figura 16. Estado de Hidratación	49
Figura 17. Viscosímetro Electrónico	61
Figura 18. Viscosímetro Electrónico RPM	62
Figura 19. Equipo prueba HPHT	65
Figura 20. Equipo PPT	69
Figura 21. Equipo de Hinchamiento Lineal	74
Figura 22. Celda de compactación de arcillas	78
Figura 23. Productos nanosílice	82
Figura 24. Fluido floculado 5 min después de agregar producto.	83
Figura 25. Fluido floculado 24 h después de agregar producto.	83

Figura 26. Prensa para crear pastillas de arcillas	84
Figura 27. Celdas Hinchamiento Lineal	85
Figura 28. Comportamiento a tiempos tempranos del Hinchamiento	86
Figura 29. Celdas de rolado	90
Figura 30. Horno de rolado.	90
Figura 31. Filtrado y Torta API	94
Figura 32. Torta API	95
Figura 33. Sello en los discos PPT	97

## LISTA DE GRÁFICAS

	<b>Pág.</b>
Gráfica 1. Hinchamiento lineal para diferentes concentraciones de nanosilice	86
Gráfica 2. Comportamiento reológico	87
Gráfica 3. Viscosidades de las mezclas	88
Gráfica 4. Geles de las mezclas	88
Gráfica 5. Puntos de cedencia de las mezclas	89
Gráfica 6. Comportamiento reológico rolado.	91
Gráfica 7. Viscosidades de las mezclas roladas.	92
Gráfica 8. Geles de las mezclas roladas	92
Gráfica 9. Puntos de cedencia de las mezclas roladas	93
Gráfica 10. Valores de Filtrado API	95
Gráfica 11. Valores de Filtrado HPHT	96

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Clasificación de las lutitas de acuerdo al contenido de arcillas	27
Tabla 2. Tipos de arcillas según su mineral	30
Tabla 3. Arcillas encontradas comúnmente	38
Tabla 4. Capacidad de intercambio catiónico.	39
Tabla 5. Prognosis de las Formaciones	50
Tabla 6. Composición química fluido base	81
Tabla 7. Concentraciones Nanosilice sika tabilizer 100	82
Tabla 8. Concentracion Nanosilice Nano fluid PR	82
Tabla 9. Resultados Hinchamiento Lineal	85
Tabla 10. Resultados pruebas reológicas.	87
Tabla 11. Resultados de pruebas reológicas al fluido rolado.	89
Tabla 12. Resultados del Filtrado API	94
Tabla 13. Filtrado HPHT	96
Tabla 14. Valores de filtrado PPT	97
Tabla 15. Composición del nuevo fluido	98
Tabla 16. Reología del nuevo fluido	99

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
Anexo A. Fotografías de tortas Prueba Filtrado API, obtenidas en el laboratorio.	104
Anexo B. Fotografías de sellos Pruebas PPT, obtenidos en el laboratorio.	105
Anexo C. Fotografías de filtrados Pruebas HPHT, obtenidos en el laboratorio.	106
Anexo D. MSDS de los productos.	107

## RESUMEN

**TITULO:** EVALUACIÓN TÉCNICA DE NANOMATERIALES COMO UNA SOLUCIÓN A PROBLEMAS OPERACIONALES DURANTE LA PERFORACIÓN.

**AUTOR:** JULIAN CAMILO PARRA TORRES\*\*

**PALABRAS CLAVES:** Arcillas, Nanopartículas, Nanosilice, Fluidos de perforación

La estabilidad de pozo y las pérdidas de circulación son dos de los problemas operacionales más frecuentes durante la perforación, problemas generados debido a la presencia de formaciones arcillosas, areniscas altamente permeables o formaciones fracturadas. En los últimos años la industria de los fluidos de perforación se enfocó en el desarrollo de aditivos, principalmente los almidones (almidón de papa, yuca, plátano) los cuales no arrojaron los resultados esperados. en este punto es donde se enfoca en Los avances de la tecnología mas específicamente en la nanotecnología la cual ha llevado a la implementación de productos con partículas de tamaños atómicos y moleculares con propiedades extraordinarias, totalmente diferentes de las propiedades de los productos a escalas normales.

El producto con las partículas adecuadas en este caso es el Nanosilice, debido a su especial tamaño de partícula el nanosilice puede llegar a generar un buen sello en tamaños de garganta de poro muy pequeños, taponamiento de fracturas y aumento en las fuerzas interlaminares de las arcillas impidiendo que esta se hinche.

Por lo cual este proyecto se enfoca en el estudio del comportamiento del nanosilice al implementarlo en los fluidos de perforación, simulando diferentes condiciones de operación mediante pruebas de laboratorio que permitan analizar y observar su desempeño.

---

\* Proyecto de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico - Química, Escuela de Ingeniera de Petróleos, Director: ING. Oscar López

## ABSTRACT

**TITLE:** TECHNICAL EVALUATION OF NANOPARTICLES AS A SOLUTION OF OPERATIONAL PROBLEMS DURING DRILLING .

**AUTHOR:** JULIAN CAMILO PARRA TORRES \*\*

**KEYWORDS:** Drilling fluids, Nanosilice, Nanoparticles, Clays

Wellbore stability and lost circulation are two of many operational problems during drilling ; those problems are generated by the presence of clays formation , sands with high permeability and fracturing formations . In the last ten years the drilling fluids industry have been development new products mainly starches ( starches from potato , yucca and plantain ) without rights solutions . Is in this point when focuses in the advantages of technology exactly in Nanotecnology that has been improving new products with nanoparticles which has atomics and molecules sizes than present extraordinary properties betters than the same properties of the products in a different scale .

The product with nanoparticles in this case nanosilice because its special size has a gorgeous performance sealing the throat pore and fractures , besides to prevent clays swelling in presence of water causing the links will be stronger .

This project focuses on the study of nanosilice behavior when it is use in drilling fluids , with the purpose to simulate operational condition by laboratory test , filtrate test, permeability plugging test , high pressure and high temperature filtrate and linear swell have been done to let us analyze and notice its performance .

---

\* Thesis

\*\* Faculty of Physical – Chemical Engineering, Petroleum Engineering School, Director : ING: Oscar Lopez

## INTRODUCCIÓN

Durante el desarrollo de la industria petrolera se han detectado numerosos problemas operacionales, los cuales los más frecuentes como la estabilidad de pozo y las pérdidas de circulación por filtrado que suceden durante la perforación. Una amplia gama de sustancias, mezclas y productos tanto químicos como naturales se han implementados para su control, en los últimos años llegó la moda de los almidones, almidón de papa, de yuca, maíz, etc. Cada uno con sus características a favor y en contra, Además de sus limitaciones. En este punto es donde llega la nanotecnología con su veloz desarrollo de nuevos productos de nanomateriales junto de su innovación en sus propiedades.

Los nanomateriales pueden jugar un papel importante sobre los fluidos de perforación con propiedades atractivas para la solución de problemas operacionales generados por las formaciones arcillosas presentes en todas las litologías de los campos petroleros. Desde su tamaño de partícula el cual puede llegar a sellar tamaños de gargantas de poro muy pequeñas hasta llegar a presentar un buen comportamiento bajo condiciones de presión y temperatura extremas.

Por lo tanto, en este proyecto se detalla el proceso de evaluación de dos productos a base de nanosílice los cuales se implementaron en los fluidos de perforación, describiendo el desarrollo de las pruebas de laboratorio geológicas, físicas y químicas donde se exponen los resultados de las mismas para su posterior análisis de la viabilidad del uso de los nanomateriales en la industria del petróleo colombiana

# 1. NANOMATERIALES

## 1.1 INTRODUCCIÓN A LOS NANOMATERIALES.

Los nanomateriales se caracterizan por tener materiales que contienen partículas diminutas con dimensiones entre 1-100 nanómetros (nm), invisibles para el ojo humano. Estos pueden ser de origen natural o fabricados por el hombre con un número de propiedades mejoradas para un uso u objetivo determinado, presentes en la vida cotidiana que se encuentran en alimentos, dispositivos electrónicos, productos de maquillaje y medicamentos.

Los nanomateriales llegan a tener tamaños hasta 10.000 veces más pequeños que un cabello humano, son de una dimensión comparable a la de los átomos o las moléculas, y toman su nombre de sus minúsculas estructuras (un nanómetro es  $10^{-9}$  de un metro). No sólo por su diminuto tamaño, sino también por otras características físicas y químicas que presentan (entre otras, su forma y superficie), los nanomateriales difieren en sus propiedades de los mismos materiales a una escala mayor<sup>1</sup>. En este punto es donde aparecen propiedades nuevas con características y funciones totalmente diferentes mejorando las ya existentes que facilitan la producción de nuevos dispositivos y materiales.

Las composiciones de los nanomateriales más comunes son: silicatos, carburos, nitruros, óxidos, seleniuros, sulfuros, haluros, telurios, aleaciones metálicas, intermetálicas, metales, polímeros orgánicos y materiales compuestos.

---

<sup>1</sup> OSHA EURPÀ [en línea] disponible en: [OSHA.EUROPA.EU/es/topics/nanomaterials](https://osha.europa.eu/es/topics/nanomaterials)

## **1.2 NANOTECNOLOGÍA**

La nanotecnología se constituye en el estudio, diseño, creación y manipulación de materiales controlando la materia a nanoescalas, y así lograr beneficios en las propiedades de materia a nanoescala.

Poder manipular las estructuras moleculares y sus átomos permite que exista la posibilidad de diseñar materiales y maquinas a partir del reordenamiento atómico y molecular, esto es a lo que llamamos nanotecnología.

## **1.3 PROPIEDADES DE NANOMATERIALES**

La identificación y descripción de los nanomateriales debe contener el tamaño promedio de sus partículas, en el cual se tiene en cuenta la agrupación de las mismas y su tamaño de forma individual.

### **1.3.1 Propiedades Físicas**

- Tamaño, forma, superficie específica y proporción entre altura y anchura.
- Adhesión unas con otras.
- Distribución según el tamaño.
- Lisura o rugosidad de su superficie.
- Estructura, incluida la estructura de cristal y cualquier defecto del cristal.
- Su capacidad para disolverse

### **1.3.2 Propiedades químicas**

- Estructura molecular.
- Composición, incluida su pureza y cualquier aditivo o impureza conocidos.

- Estado en que se encuentra (sólido, líquido, gas).
- Química de superficie.
- Atracción de moléculas de agua, aceites o grasas.

Los nanomateriales en la naturaleza están presentes en las emisiones volcánicas, como subproductos de la actividad humana en el humo de residuo de los motores y en el humo de los cigarrillos de tabaco. En la industria los nanomateriales manufacturados se encuentran en una gran variedad de productos. Uno de los más utilizados es el nanosílice.

#### **1.4 NANOSILICE**

Nano aditivo que se encuentra en estado líquido a base de partículas de tamaño nanométrico. Utilizado como reductores de agua debido a su comportamiento plastificante.

**Figura 1. Nanosílice en estado líquido.**

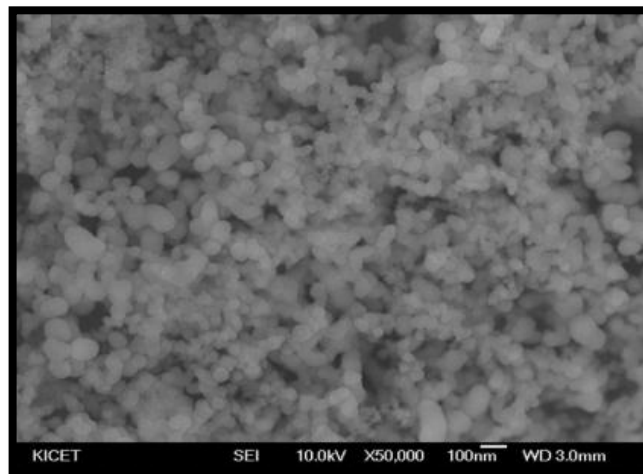


Fuente: [www.aci-uni.org](http://www.aci-uni.org)

Su uso principal se da en la industria de los concretos donde el producto de nanosílice presenta las siguientes propiedades:

- Gran poder plastificante y reductor de agua.
- Incremento del desarrollo de alta resistencia inicial y final.
- Permeabilidad nula o casi nula
- Evita la segregación y excesiva exudación
- Evita la formación de huecos o burbujas.

**Figura 2. Escaneo electrónico del nanosílice.**



Fuente: byang wan jo,et . Al, 2007

## **1.5 PRODUCTOS DE NANOSÍLICE SELECCIONADOS**

Se seleccionaron dos productos comerciales en Colombia a base de nanosílice líquido, para evaluar en los fluidos de perforación de las formaciones arcillosas colombianas.

**1) Sika stabilizer 100**

**2) Nano Fluid PR**

Figura 3. Productos de nanosílice.



## **2. PROPIEDADES GEOLÓGICAS DE LAS FORMACIONES ARCILLOSAS**

### **2.1 GENERALIDADES DE LAS ARCILLAS**

Las rocas arcillosas las cuales pertenecen al grupo de rocas sedimentarias detríticas, poseen una baja permeabilidad debido a su formación por compactación de los sedimentos compuestas por minerales como cuarzo, feldespato y calcita en diferentes porcentajes presentes en grados granulométricos como el grado limo de 1/16-1/256 mm o el grado arcilla con tamaños inferiores a 1/256 mm. Conservando buenos valores de porosidades, se encuentran saturadas con agua de formación y se caracterizan por poseer un tamaño de partícula de aproximadamente 2 micrones y presentar estructura laminar.<sup>2</sup>

Debido a su tamaño de grano muy pequeño no es posible realizar estudios ópticos o a simple vista, se hace necesario la implementación de microscopios electrónicos y la difracción de rayos X para su análisis composicional y lograr determinar su ambiente de deposición (continental, marino, sedimentario).

Las arcillas las encontramos comúnmente como las formaciones sellos en una trampa de hidrocarburos debido a su baja permeabilidad que las caracteriza, esto ocurre debido a su pequeño tamaño de garganta de poro el cual no permite el flujo normal de fluidos a través de sí misma. La profundidad disminuye considerablemente sus propiedades de permeabilidad y porosidad debido a los efectos de compresión que ejercen las formaciones superiores. Además de presentar una alta tendencia a reaccionar tanto física como químicamente en

---

<sup>2</sup> MARTÍNEZ. Stefania. Rediseño De Los Fluidos De Perforación Base Agua En Yacimientos De Shale Gas Aplicado A Un Campo Colombiano. Tesis de Grado. 2013

presencia de agua, estas reacciones se dan dependiendo el tipo de arcilla, tipo de minerales que contenga y como se genera el intercambio de cationes con el agua.

## 2.2 CLASIFICACIÓN DE LAS ARCILLAS

Las arcillas se pueden clasificar de diferentes formas, una de ellas es mediante la titulación con azul de metileno (MBT) con la cual se mide la capacidad de la arcilla a absorber cationes de la tinta de azul de metileno, representando el comportamiento que tendrá la arcilla en presencia de un fluido. Las arcillas blandas generalmente tienen valores de MBT en el rango 20-40 meq/100g, mientras que la lutitas quebradizas pueden tener valores de 0-3 meq/100g.<sup>3</sup>

Según el tipo y la cantidad de arcilla que interactúa con el agua encontramos los siguientes grupos: el grupo de la Montmorillonita son las más dispersables e hidratables, en contacto con el agua dulce pueden alcanzar más de 10 veces su tamaño normal.<sup>4</sup> En el grupo de la Illita cuando se encuentran de forma pura no son hidratables, al sufrir fenómenos de intemperización la arcilla cambia cationes lo cual permite la hidratación, estas arcillas reciben el nombre de Illitas degradadas. El grupo de la Clorita son arcillas que presentan series alternadas muy propensas a la dispersión debido a sus capas alternadas las cuales reducen la fuerza entre los enlaces además de generar hinchamientos no uniformes, por lo tanto los esfuerzo de hidratación debilitan la estructura de la arcilla. Cuando se presenta un cambio en la primera capa se denominan cloritas degradadas las cuales si se expanden, proceso que no ocurre en su forma cristalizada. El grupo de las Caolinitas no reaccionan en presencia de agua, no hay hidratación ni dispersión en las arcillas.

---

<sup>3</sup> MARTINEZ. Stefania. Rediseño De Los Fluidos De Perforación Base Agua En Yacimientos De Shale Gas Aplicado A Un Campo Colombiano. Tesis de Grado. 2013

<sup>4</sup> RODRÍGUEZ R. y BRAVO M. Estudio De La Inestabilidad De Las Lutitas Durante La Perforación. Tesis de Grado. 1976.

Las arcillas las podemos clasificar en:

- Arcillas hidratables y dispersables.
- Arcillas quebradizas.
- Arcillas bajo presión.
- Arcillas bajo esfuerzos tectónicos.

**2.2.1 Arcillas hidratables y dispersables.** Cuando la arcilla entra en contacto con un fluido base agua y su filtrado invade los poros, según los minerales que contenga comienza su proceso de hidratación, el porcentaje del mineral que predomine y si es susceptible o no al agua determina el grado de hidratación de la arcilla, esta hidratación poco uniforme en las láminas de la arcilla puede llevar a que la arcilla explote y se disperse. Estos dos fenómenos no siempre ocurren al mismo tiempo, se presentan algunos casos la arcilla se hincha considerablemente pero no se dispersa, en otros ocurre lo contrario.

**2.2.2 Arcillas quebradizas.** Presentan una naturaleza firmes y duras pero se rompen al entrar en contacto con el agua, los pedazos de estas arcillas no se ablandan ni se hinchan. Su inestabilidad solo se logra por la invasión de agua en las micro fracturas que pueda llegar a presentar o al estar en presencia de una matriz de cuarzo o feldespato.<sup>5</sup>

**2.2.3 Arcillas bajo presión.** Las arcillas bajo presión o presurizadas son aquellas en las cuales durante el proceso de sedimentación y compactación atraparón hidrocarburos gaseosos, por otra parte se pueden formar al estar bajo una capa de arena y debido a su poca permeabilidad no permite el flujo en el momento de la compactación obteniendo como resultando un aumento en la presión de poro. Sus presiones de confinamiento son superiores a las esperadas normalmente para la profundidad en la que se encuentran.

---

<sup>5</sup> RODRÍGUEZ R. y BRAVO M. Estudio De La Inestabilidad De Las Lutitas Durante La Perforación. Tesis de Grado. 1976.

Efectos tectónicos de elevación pueden conducir a una arcilla de presión normal a presentar presiones anormales.

**2.2.4 Arcillas bajo esfuerzos tectónicos.** Arcillas que se encuentran en zonas alteradas tectónicamente, las cuales pueden estar en fallas, domos o planos estratigráficos con alta inclinación. El problema más frecuente de este tipo de arcillas se presenta al perforar la formación la cual debido a su grado de inclinación provoca derrumbamiento de las paredes del hueco y taponamiento del mismo.

**Tabla 1. Clasificación de las lutitas de acuerdo al contenido de arcillas**

<b>TIPO DE LUTITA</b>	<b>PROBLEMAS TIPICOS</b>	<b>CONTENIDO DE AGUA %</b>	<b>TIPO DE ARCILLA</b>
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 los esfuerzos de sobrecarga.	5-15	Contenido moderado de illita y clorita.
Muy dura y quebradiza	No hay dispersión significativa. Formación de cavernas. Colapso del pozo.	2-5	Alta en illita y moderada en clorita y caolinita

Fuente: Chenevert M et al.: stabilizing sensitive shales with k-base drilling fluids. 1973.

## 2.3 MINERALES ARCILLOSOS

Los minerales arcillosos son productos de meteorización de feldespatos , silicatos o rocas ya existentes, los cuales consisten en estructuras bien definidas constituidas por átomos de silicio, aluminio, magnesio, hierro, hidrogeno y oxigeno los cuales forman laminas entre

sí o por el intercambio de iones. Las láminas se agrupan por medio de enlaces químicos obteniendo como resultado estructuras ordenadas bilaminares o trilaminares de cada tipo de minerales.

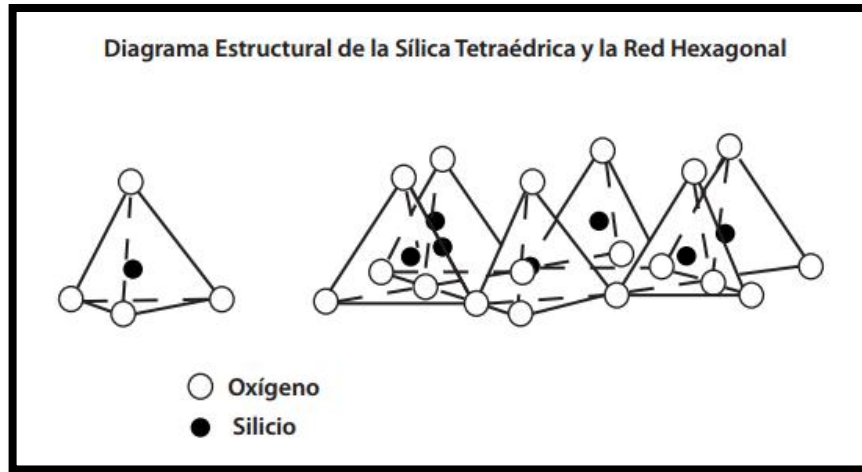
Los minerales arcillosos también se pueden clasificar de acuerdo a la relación de capas de sílice a capas de aluminio, tal como: 1:1, 2:1, 2:2, además si estos minerales arcillosos son estratificados o en forma de aguja.<sup>6</sup>

**2.3.1 Estructura de las arcillas.** La estructura de los minerales arcillosos se presenta principalmente en dos unidades básicas. Una lámina tetraédrica de sílice (Figura 1) compuesta por un átomo de sílice y cuatro átomos de oxígeno los cuales se encuentran equidistantes entre sí, presentes en su configuración más sencilla la cual se agrupa con el fin de formar estructuras hexagonales continuas en el eje horizontal obteniendo como resultado la lámina de sílice tetraédrica.

---

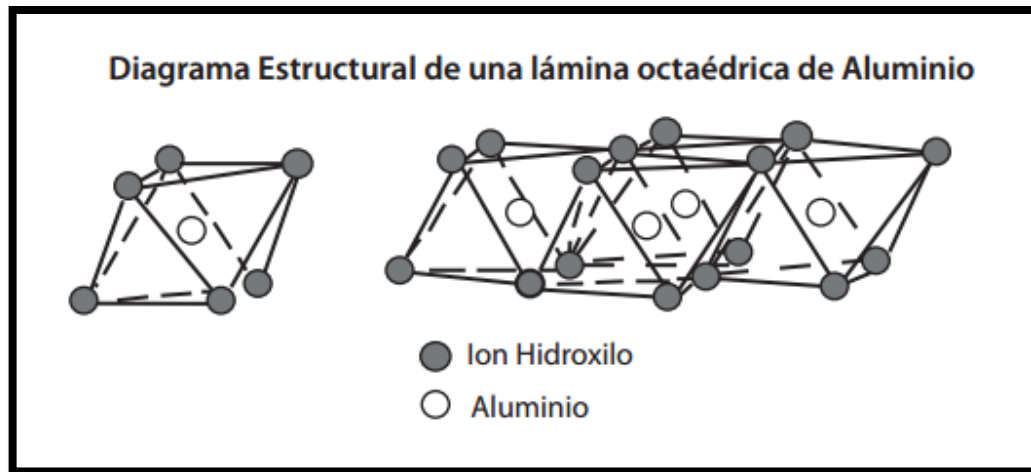
<sup>6</sup> M-I SWACO SCHLUMBERGER COMPANY. Drilling Fluids Engineering Manuel.2006. Pag 168

**Figura 4. Diagrama estructural de la sílica tetraédrica y la red hexagonal**



La segunda unidad básica es la octaédrica de aluminio (Figura 2) compuesta por iones hidroxilos los cuales rodean a un átomo de hierro, magnesio o aluminio principalmente de forma octaédrica, 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 la 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.

**Figura 5. Diagrama estructural de una lámina octaédrica de aluminio**

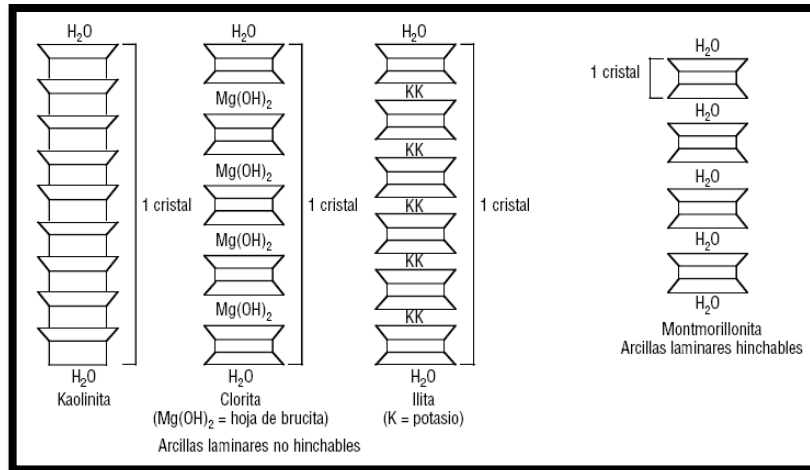


Los problemas operacionales como la inestabilidad del pozo no se presentan en todas las formaciones arcillosas debido a que no todas las arcillas poseen la misma configuración de minerales ni mantienen la misma forma. Las arcillas de tipo laminar son las que se encuentran en las lutitas de las formaciones, responsables del hinchamiento de las mismas durante la perforación. Esta reacción es consecuencia de la interacción del agua de los fluidos de perforación y el mineral arcilloso.

**Tabla 2. Tipos de arcillas según su mineral**

ARCILLAS LAMINARES		ARCILLAS DE FORMA DE AGUJA
HIDRATABLES	NO HIDRATABLES	NO HIDRATABLES
Esmectitas	CAOLINITA	CITAPULGUITA
Montmorillonitas	ILLITA	
Vermiculitas	CLORITA	SEPIOLITA

**Figura 6. Comparación de la estructura de las arcillas**

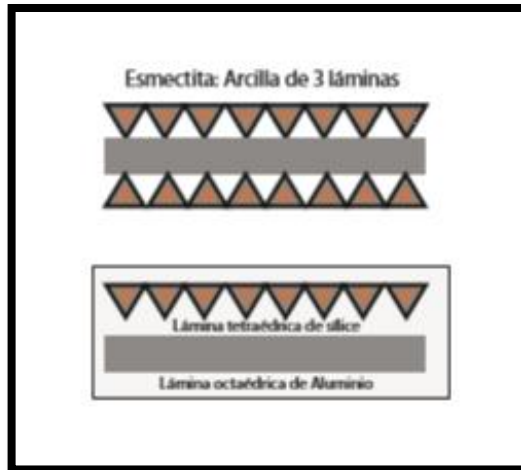


Fuente: M-I SWACO

## 2.4 MINERALES ARCILLOSOS HIDRATABLES

**2.4.1 Esmectita.** Los minerales del grupo de la esmectita están compuestos por dos láminas tetraédricas de sílice y una lámina octaédrica de aluminio la cual se encuentra en el medio de las dos láminas tetraédricas, por lo tanto, su clasificación según la relación de capas de sílice a capas de aluminio es de 2:1 (Figura 3). El átomo de aluminio puede ser reemplazado por átomos de hierro, magnesio o calcio, por lo cual los principales minerales esmectíticos son; montmorillonita de sodio, beidelita (montmorillonita de calcio), saponita (montmorillonita de magnesio), nontronita (montmorillonita de hierro) y hectorita (montmorillonita de litio).

**Figura 7. Esmectita**



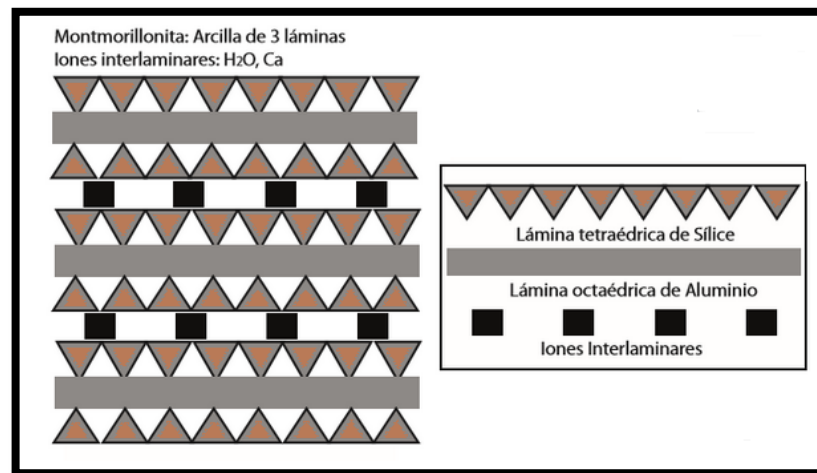
Al cambiar el átomo de aluminio se genera la asociación de cationes a las superficies de las partículas cercanas con el fin de mitigar el desequilibrio de las cargas. Los cationes de sodio son monovalentes y los de calcio son divalentes, estos últimos limitan el hinchamiento de las arcillas al enlazarse consecutivamente debido a sus cargas.

Bajo condiciones normales las esmectitas mantienen 9.6 Å de grosor, sin embargo, estas arcillas son altamente reactivas al estar en contacto con sustancias polares como el agua. El agua entra entre las láminas del mineral causando que la arcilla sufra hinchamiento debido a la expansión de sus minerales lo cual varía desde 12.5-20 Å en su grosor, o en algunos casos la separación total de los paquetes laminares.

**2.4.2 Montmorillonita.** Mineral arcilloso de tres laminas compuesto por dos láminas tetraédricas de sílice y una lámina octaédrica de aluminio la cual se intercala entre las capas tetraédricas, clasificada como 2:1 en la relación de capas (Figura 4). La montmorillonita es el mineral más expandible debido a su estructura de forma enrejada la cual se obtiene debido a que todas las puntas de las láminas tetraédricas se organizan en dirección a la lámina octaédrica, de esta forma los

átomos de oxígeno de la lámina tetraédrica se ubican conjuntamente a los oxígenos de los hidroxilos presentes en la lámina octaédrica. Como resultado los enlaces de la motmorillonita son más débiles que en otras arcillas.

**Figura 8. Montmorillonita.**



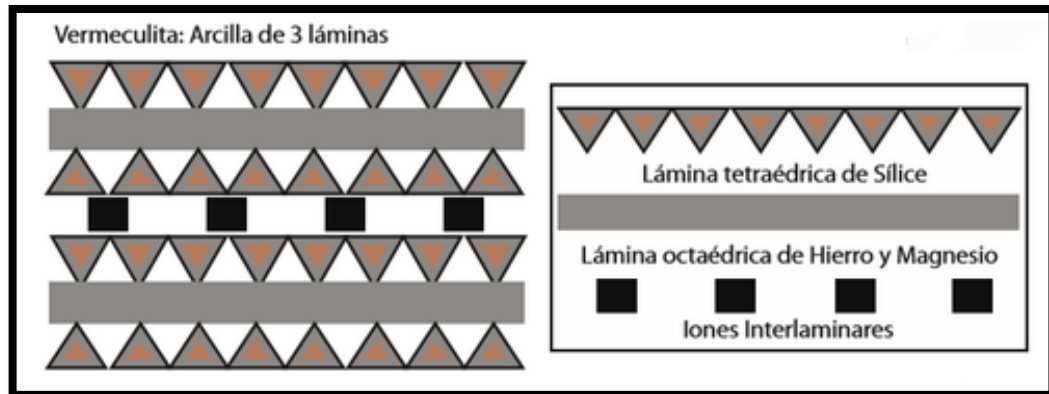
La montmorillonita se produce en suelos con un pH neutral o alcalino a temperaturas moderadas, destacándose como el mineral más expandible debido a su absorción de agua entre su estructura, el agua penetra entre las capas causando expansión del enrejado. La cantidad de agua que entra en el interior de la estructura, está controlada por la estructura en sí, y la naturaleza del catión cambiante.<sup>7</sup>

Normalmente el grosor de estas arcillas son de 9.6 Å cuando el mineral se encuentra no hidratado, en presencia de agua el hinchamiento de la montmorillonita varía entre 9.7-17 Å su grosor. La separación depende del tamaño de los cationes, cuando el ion reemplazable es el sodio, tiene una capa de agua y un espaciamiento de 12.5 Å, mientras que si el ion reemplazable es el calcio el espaciamiento será de 15.5 Å.

<sup>7</sup> RODRÍGUEZ R. y BRAVO M. Estudio De La Inestabilidad De Las Lutitas Durante La Perforación. Tesis de Grado. 1976.

**2.4.3 Vermiculita.** Compuesta estructuralmente por 3 capas laminares (Figura 5), ubicadas de forma tetraédrica-octaédrica-tetraédrica formadas de silicatos de aluminio, magnesio y hierro principalmente en su capa octaédrica. Se originan principalmente debido a la alteración hidrotermal de la biotita.

**Figura 9. Vermiculita.**

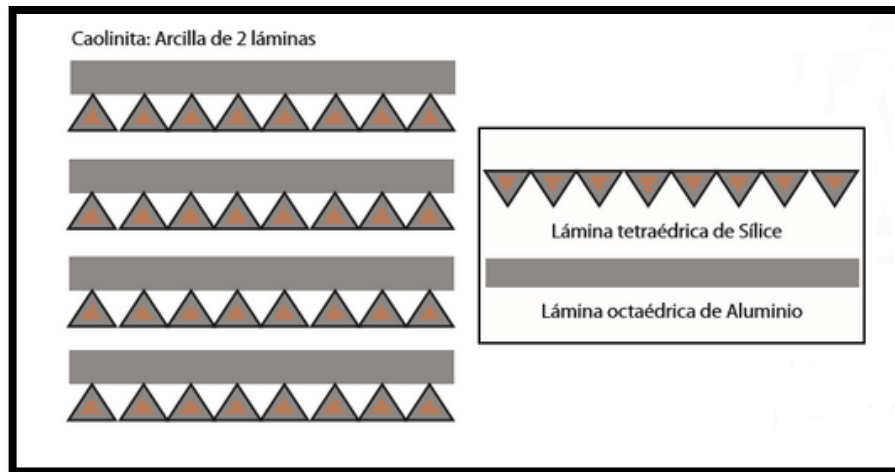


Los débiles enlaces de los átomos de magnesio y de hierro permiten que ingrese fácilmente las moléculas de agua en el espacio interlaminar lo que me genera separación de las láminas e hinchamiento de la arcilla el cual puede variar su grosor desde 10-14.4 Å.

## 2.5 MINERALES ARCILLOSOS NO HIDRATABLES

**2.5.1 Caolinita.** Mineral arcilloso compuesto por dos laminas, una lámina tetraédrica y una lámina octaédrica o estructura 1:1 según su relación de capas (Figura 6). Soportada mediante enlaces de hidrogeno por parte de los atamos de oxigeno ubicados en la punta de los tetraedros y de los hidroxilos de los octaedros los cuales son muy fuertes con el objetivo de no permitir el ingreso del agua entre sus laminas.

**Figura 10. Caolinita.**

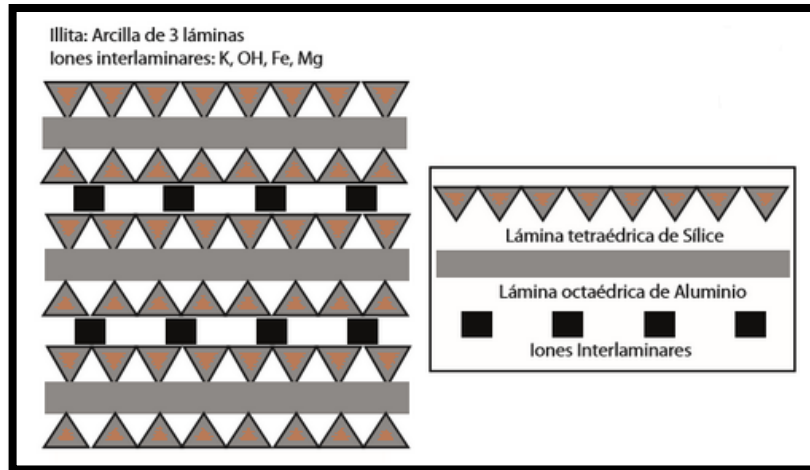


La caolinita es formada en suelos cálidos y húmedos, además de estar en presencia de aguas ácidas. Son estructuras con cargas muy bien balanceadas en las cuales no se observan cationes entre capas ni cargas superficiales, esto último sucede debido a su bajo o casi nulo intercambio de iones.

Este tipo de minerales no se hidrata por lo cual las arcillas no sufren hinchamiento, por lo tanto, tampoco se dispersan y el grosor de sus capas se mantiene constante en el valor de 7 Å.

**2.5.2 Illita.** Estructuralmente conformada por 3 láminas, una lámina octaédrica ubicada en medio de las láminas tetraédricas de sílice (Figura 7). Las cuales cuando se encuentran puras no sufren hidratación manteniendo su grosor de 10 Å, sin embargo un intercambio catiónico debido a la intemperización puede permitir que la arcilla se hidrate.

**Figura 11. Illita**



Su estructura se clasifica según su relación de capas en 2:1 al igual que las montmorillonitas, de la cual se diferencia por los elementos en su estructura, en la cual la sustituyen átomos de sílice de las capas tetraédricas por átomos de aluminio. Las cargas restantes son balanceadas por los iones de potasio que se encuentran en el espacio interlaminar.

Las illitas no son hidratables sus laminas no se separan en presencia de agua debido 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 octaédrica y de aquí que haya una distancia más grande de los iones potasio en las illitas.<sup>8</sup>

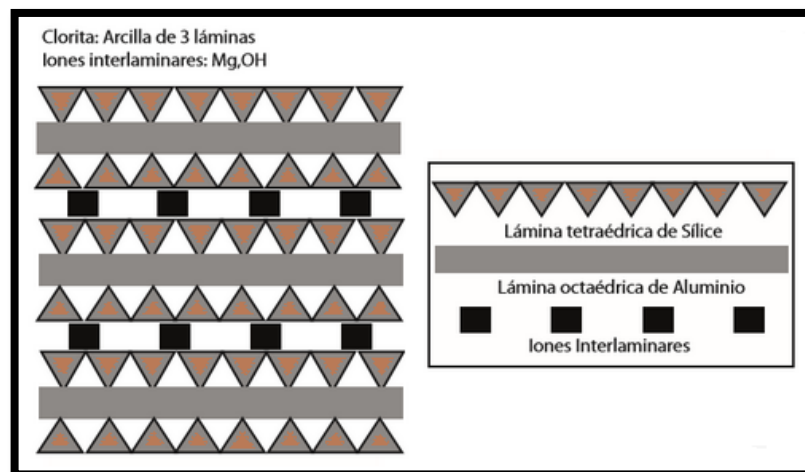
En algunos casos cuando la sustitución de los átomos de sílice por los átomos de aluminio es baja o pobre y el ion potasio es reemplazado por cationes divalentes como magnesio o calcio, las illitas pueden presentar las mismas tendencias de hinchamiento que las montmorillonitas.<sup>9</sup>

<sup>8</sup> MARTINEZ, Stefania. Rediseño De Los Fluidos De Perforación Base Agua En Yacimientos De Shale Gas Aplicado A Un Campo Colombiano. Tesis de Grado. 2013

<sup>9</sup> BP & Chevron Texaco Drilling Fluids Manual

**2.5.3 Clorita.** Mineral arcilloso tri-laminar el cual es formado en suelos con filtración, ubicadas bajo aguas subterráneas acidas o en suelos áridos. Estructuralmente su clasificación de relación de capas es 2:1(laminas tetraédrica – octaédrica- tetraédrica)(Figura8), los cationes ubicados entre las láminas encargados de balancear las cargas en este caso son hidróxidos de magnesio o brucita. La lamina de estructura 2:1 esta desbalanceada por 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 como una consecuencia de la sustitución de magnesio por aluminio.<sup>10</sup>

**Figura 12. Clorita.**



La clorita posee fuertes enlaces entre laminas, enlazadas por iones de magnesio o aluminio hidratados los cuales restringen la entrada de electrolitos al espacio interlaminar, por lo tanto la clorita no presenta hinchamiento y es poco hidratable. El espacio o grosor interlaminar en su estado laminar es de 14 Å. La clorita también puede formar arcillas de capas mixtas con otros minerales arcillosos tales

<sup>10</sup> MARTINEZ. Stefania. Rediseño De Los Fluidos De Perforación Base Agua En Yacimientos De Shale Gas Aplicado A Un Campo Colombiano. Tesis de Grado. 2013

como la esmectita. La arcilla resultante de capas mixtas tendría las propiedades de ambos tipos de minerales arcillosos.<sup>11</sup>

**Tabla 3. Arcillas encontradas comúnmente**

Grupo	Estructura	Carga	Catión de Intercambio	Distancia Interatómica Å	Hinchamiento
Kaolinita	Capa 1:1	Nula	Ninguno	7,2	Ninguno
Talco	Capa 2:1	Nula	Ninguno	9,3	Ninguno
Esmectita	Capa 2:1	0,3-0,6	Na <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , K <sup>+</sup> , Mg <sup>2+</sup>	11-15	Variable
Vermiculita	Capa 2:1	1,0-4,0	K <sup>+</sup> , Mg <sup>2+</sup>	14-15	Variable
Ilita	Capa 2:1	1,3-2,0	K <sup>+</sup>	10	Nulo
Mica	Capa 2:1	2	K <sup>+</sup>	10	Ninguno
Chlorita	Capa 2:2	Variable	Capa de brucita	14	Nulo
Sepiolita	Cadena 2:1	Nula	Ninguno	12	Nulo
Paligorskita	Cadena 2:1	Menor	Ninguno	10,5	Nulo

Fuente: M-I SAWCO

## 2.6 PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS DE LAS ARCILLAS

Las propiedades físico-químicas de las arcillas dan una idea de cómo será el comportamiento de las arcillas durante las operaciones, esto con el objetivo de controlar sus procesos reactivos en presencia de agua, mitigar sus efectos sobre los fluidos de perforación conservando el flujo normal de las operaciones.

Las arcillas se desempeñan de forma indirecta o directa en las operaciones de perforación, la primera se origina al entrar en contacto la formación arcillosa con los fluidos de perforación reaccionando a generar problemas, por lo cual las propiedades tienden a ser modificadas y controladas por medio de aditivos,

<sup>11</sup> M-I SWACO SCHLUMBERGER COMPANY. Drilling Fluids Engineering Manuel.2006 Pag 173

polímeros y nanomateriales. La segunda forma es cuando la misma arcilla se utiliza como aditivo a los fluidos de perforación.

**2.6.1 Intercambio catiónico CEC.** El intercambio catiónico se presenta en los cationes superficiales de la estructura arcillosa, puede definirse como el cambio de iones en solución por iones en el sólido, y es una de las características de los materiales arcillosos que nos permiten ejercer un control riguroso sobre determinado tipo de lutitas para mantenerla en el rango óptimo de estabilidad.<sup>12</sup> La capacidad de intercambio catiónico es la medida de la cantidad de cationes por peso en la arcilla, expresada en miliequivalentes sobre gramos (meq/100g).

**Tabla 4. Capacidad de intercambio catiónico.**

<b>CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO</b>	
<b>Minerales</b>	<b>Meq/100g</b>
Caolinita	3-15
Illita	10-40
Clorita	10-40
Montmorillonita	60-150

Fuente: BP and Chevron Texaco Drilling Fluids Manual

Según el tipo de cationes presentes en la arcilla cambiara el efecto sobre la hidratación de sí misma, lo que variara el espesor de la arcilla al sufrir hinchamiento. Los cationes de intercambio puede ser reemplazados por hidrogeno, aluminio, calcio, magnesio, potasio, amonio, sodio, litio ordenados de forma descendente según su capacidad de intercambio, los cationes con mayor capacidad de intercambia reemplazaran más fácilmente. La montmorillonita de sodio posee mayor facilidad a disociarse debido a que es altamente hidratable formando láminas de arcilla más gruesas las cuales pueden alcanzar 40 Å, por

<sup>12</sup> RODRÍGUEZ R. y BRAVO M. Estudio De La Inestabilidad De Las Lutitas Durante La Perforación. Tesis de Grado. 1976.

otra parte la montmorillonita de calcio es menos hidratable por lo cual se hincha y disocia en menor proporción llegando hasta 17 Å.

La prueba de 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.<sup>13</sup>

Cuando la arcilla entra en contacto con aguas de composición electrolítica, es decir con una alta composición de cationes se ve obligada a contraerse debido a que se generan fuerzas de atracción de los cationes que se encuentran en solución superando las fuerzas de repulsión, con el fin de agrupar las láminas arcillosas no llegar al proceso de floculado.

**2.6.2 Hidratación.** Las arcillas al entrar en contacto con los fluidos de perforación base agua absorben el fluido hinchándose entre dos y cincuenta veces su tamaño original. La estructura de la arcilla compuesta por una lámina de aluminio octaédrica ubicada entre dos láminas de sílice está cargada negativamente rodeada por cationes en solución, según el tipo de cationes se puede determinar el tipo de mineral.

La atracción entre las cargas de la arcilla, positivas en sus bordes y negativas en su interior a lo largo de la lámina octaédrica reaccionan con las cargas de las moléculas disueltas en el agua provocando hinchamiento. El grado de expansión de la arcilla varía de mayor a menor según su mineral en el siguiente orden: montmorillonita, illita, caolinita. Se ha observado que el grado de hinchamiento

---

<sup>13</sup> BP & Chevron Texaco Drilling Fluids Manual

decrece según el tipo de cationes en orden: sodio, litio, potasio, calcio, magnesio e hidrogeno.<sup>14</sup>

El lado de hidrogeno positivo de la molécula de agua es atraído por la gran superficie negativa de la arcilla y formará un enlace de hidrogeno con está. Esta adsorción de agua puede tener un espesor de varias capas, esparciéndose e hinchando las capas adyacentes de la arcilla.<sup>15</sup>

La inestabilidad de las arcillas es producto de diferentes mecanismos de hidratación los cuales no son uniformes a lo largo de la misma arcilla, debido a que esta contiene dentro de sus composición minerales hidratables y no hidratables los cuales reaccionan de forma diferente en presencia de agua. La temperatura en la que se encuentra la solución iónica determina el grado de hinchamiento, el desequilibrio eléctrico por la hidratación de los cationes rompe las láminas de arcilla absorbiendo grandes cantidades de agua hasta llegar a la disociación.

La hidratación de las arcillas se genera por 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 las arcillas después de que las mismas han hidratado iónicamente (generalmente, a una humedad del 100%). Todas las

---

<sup>14</sup> RODRÍGUEZ R. y BRAVO M. Estudio De La Inestabilidad De Las Lutitas Durante La Perforación. Tesis de Grado. 1976

<sup>15</sup> MARTINEZ. Stefania. Rediseño De Los Fluidos De Perforación Base Agua En Yacimientos De Shale Gas Aplicado A Un Campo Colombiano. Tesis de Grado. 2013

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.

**Hinchamiento:** expansión de las arcillas debido a la absorción de agua

**Dispersión:** desintegración del cuerpo de las lutitas por el contacto con el agua.

**2.6.3 Adsorción.** Es el fenómeno que poseen las arcillas, el cual es la capacidad de mantener gases líquidos o sustancias disueltas sobre su superficie por lo tanto está relacionado con las características de porosidad y superficie específica de la arcilla. Cuando la retención del gas o fluido se produce por medio de procesos físicos (retención capilar) el proceso es llamado absorción, por otra parte, cuando se presenta una interacción química entre el adsorbente (sólido) y el adsorativo (gas, líquido o sustancias disueltas) el proceso es llamado adsorción.

La capacidad de adsorción se expresa en porcentaje de absorbato 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.<sup>16</sup>

**2.6.4 Tamaño de la partícula.** Las arcillas tienen tamaños muy pequeñas por lo cual se debe implementar técnicas avanzadas para su estudio como los microscopios electrónicos, el grosor de una lámina de la arcilla puede variar entre 7 y 21 Å. La dispersión de la arcilla crea el área superficial o específica la cual es

---

<sup>16</sup> MARTINEZ. Stefania. Rediseño De Los Fluidos De Perforación Base Agua En Yacimientos De Shale Gas Aplicado A Un Campo Colombiano. Tesis de Grado. 2013

la medida del área de la superficie tanto interna como externa de las partículas que forman la arcilla, expresada en área sobre unidad de masa ( $\text{m}^2/\text{g}$ ).

Valores de superficies específicas de algunas arcillas:

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

**2.6.5 Plasticidad.** Propiedad característica de las arcillas que permite la deformación del material de forma permanente al ser sometido a la acción de una fuerza sin generar planes de corte o fracturas, en otras palabras sin romperse.

La estructura laminar de la arcilla junto a su pequeño tamaño de partícula y alta capacidad de hinchamiento contribuyen a tener una alta plasticidad generada al entrar en contacto la arcilla con el agua que se distribuye de forma uniforme a lo largo del área superficies de la arcilla, entre más pequeñas son las partículas su estructura será más imperfecta y más plástica será la arcilla. El grado de deformación del material depende del tiempo durante el cual se aplicó la fuerza sumado a la tasa de aplicación de la misma y el contenido de humedad que presente la arcilla.

Existen dos pruebas para medir la plasticidad de las arcillas, la primera consiste en determinar el índice de plasticidad, o la cantidad de agua necesaria para que la arcilla tenga este comportamiento, el rango adecuado de humedad contenida en la arcilla. La segunda prueba es determinar la fuerza necesaria para deformar la

arcilla, y cuál será el valor máximo que soporta la arcilla en deformación antes de llegar a la ruptura.

**2.6.6 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.<sup>17</sup>

## **2.7 PROCESOS DE ENLACE DE LAS PARTICULAS DE ARCILLA.**

Los procesos de enlace de las partículas de arcilla son de suma importancia para entender los cambios reológicos de los fluidos de perforación con el fin de poder realizar un planteamiento adecuado para su control.

Las partículas de las arcillas interactúan entre sí, según la distribución de las cargas eléctricas y los cationes intercambiables, por lo tanto las arcillas pueden asociarse en los siguientes estados: agregación, dispersión, floculación, desfloculación. En los cuales la arcilla puede al mismo tiempo presentar uno o varios estados, con un estado de asociación predominante en el tiempo.

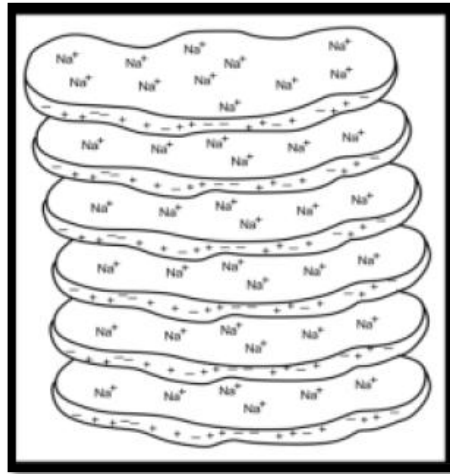
**2.7.1 Agregación.** Es el enlace cara a cara el cual forma columnas o paquetes más grandes y gruesos. La presencia de cationes divalentes favorece la agregación lo que causa una reducción de la viscosidad plástica del fluido, al

---

<sup>17</sup> GARCIA ROMERO, EMILIA "Las Arcillas: Propiedades y Usos", Universidad Complutense, Madrid.

mismo tiempo que genera un aumento en el filtrado hacia la formación debido a la reducción del número de partículas. La densidad no vuelve a su valor original con el transcurso del tiempo y la temperatura llega a un valor menor que el inicial.

**Figura 13. Agregación**

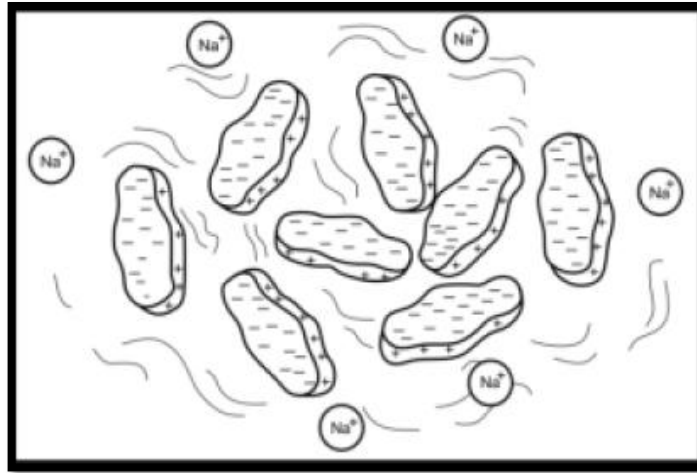


Fuente: Manual de educación continúa Halliburton

**2.7.2 Dispersión.** Es el efecto contrario a la agregación, como consecuencia a la hidratación de las partículas obteniendo como resultado un mayor número de ellas y viscosidades plásticas más altas. 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 la concentración de la misma.<sup>18</sup>

<sup>18</sup> M-I SWACO SCHLUMBERGER COMPANY. Drilling Fluids Engineering Manuel.2006 Pag 173

**Figura 14. Dispersión**

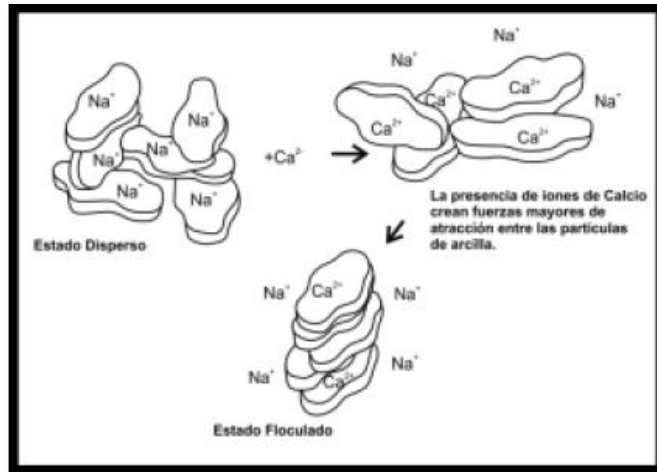


Fuente: Manual de educación continua Halliburton

**2.7.3 Floculación.** Es el enlace borde a borde o borde a cara de las partículas de las arcillas como resultado de las fuerzas de atracción formando estructuras poco consolidadas. La floculación aumenta la viscosidad y el filtrado hacia la formación lo cual depende de las fuerzas de enlaces y número de partículas, es favorecida por las altas temperaturas y la adición de cationes divalentes.

La disociación de los enlaces borde a borde y borde cara es llamada desfloculación, las arcillas agregadas o dispersas pueden presentar ambos tipos de comportamiento. La desfloculación se da por la adición de químicos que neutralizan las cargas eléctricas reduciendo las fuerzas de atracción entre las partículas, presentando una reducción de la viscosidad, además de mejorar el revoque de las arcillas para reducir el filtrado.

**Figura 15. Floculación**



Fuente: Manual de educación continúa Halliburton

**2.7.4 Estado de Hidratación.** Las fuerzas electrostáticas contribuyen a que exista una gran interacción entre las estructuras arcillosas y las moléculas de agua ya que está compuesta por un átomo de oxígeno el cual genera una parte negativa de la molécula y dos átomos de hidrogeno al otro lado, parte positiva de la molécula, por lo tanto su comportamiento dipolar.

La estructura de las arcillas presentan el mismo comportamiento de partes cargadas en su estructura tanto positiva como negativamente al igual que la molécula de agua por lo cual estas dos estructuras se asocian fácilmente.

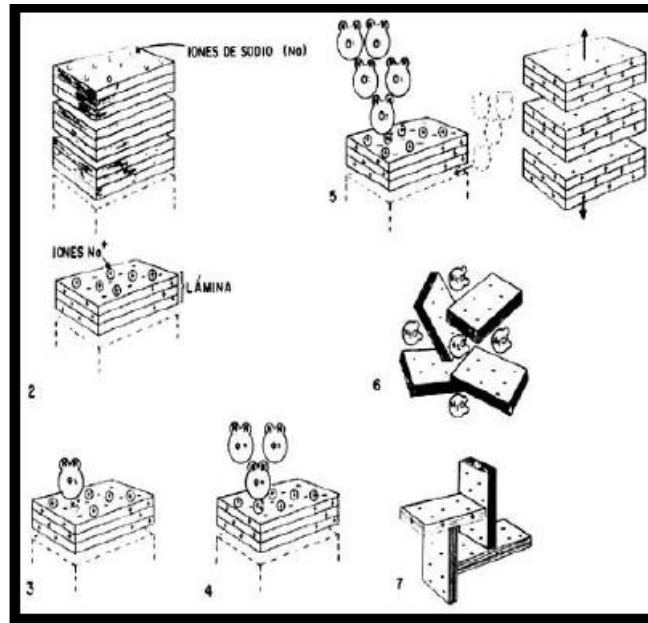
- La arcilla se encuentra deshidratada con presencia de iones de calcio, sodio y potasio en su espacio interlaminar.
- Las cargas negativas de la arcilla se ubican en la superficie plana de la lámina octaédrica, al mismo tiempo las cargas positivas se ubican en las puntas o bordes de la lámina tetraédrica de la arcilla. Los iones se ubican en el espacio interlaminar junto a las láminas planas.

- Las fuerzas de atracción entre las moléculas de agua y la estructura de la arcilla al entrar en contacto se enfocan hacia la lámina plana de la arcilla donde se encuentran los iones de sodio cargados positivamente.
- La molécula de agua por su carácter dipolar atrae un mayor número de moléculas de agua.
- El espacio interlaminar se expande produciendo el hinchamiento de la arcilla, esto es el resultado de los enlaces de las moléculas de agua con la superficie de la lámina lo que aumenta su polarización negativamente hasta el punto en el cual las láminas de la arcilla comienzan a repelerse entre sí.
- Al separarse las láminas de arcillas, el espacio interlaminar se va llenando de moléculas de agua que neutralizan electrostáticamente las superficies arcillosas impidiendo su agrupación, esto solo sucederá si se remueve el agua de la arcilla por métodos físicos o químicos que al deshidratarla permitan que la arcilla regrese a su volumen original.
- 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 para que se forme una estructura en la cual las moléculas de agua puedan entrar y salir libremente. Pero esta estructura puede derrumbarse mediante la agitación vigorosa de la suspensión con efecto retrogrado cuando esta termina.<sup>19</sup>

---

<sup>19</sup> MARTINEZ. Stefania. Rediseño De Los Fluidos De Perforación Base Agua En Yacimientos De Shale Gas Aplicado A Un Campo Colombiano. Tesis de Grado. 2013

**Figura 16. Estado de Hidratación**



Fuente: Manual de educación continúa Halliburton

## **2.8 FORMACIONES GEOLÓGICAS ARCILLOSAS COLOMBIANAS**

**2.8.1 Formación Guayabo** La formación se divide en dos partes, la superior donde son predominantes las cuarzoarenitas de grano medio a fino, localmente duras, sub-blocosas, subredondeadas a subangulares, bien sorteadas. Estas cuarzoarenitas se encuentran intercaladas con menores niveles de arcillolita. La parte basal, está conformada predominantemente por Arcillolitas de color crema a amarillo pálido ocasionalmente rojas, amorfas y solubles, intercaladas con paquetes delgados de areniscas de grano muy fino a fino y trazas de Carbón. Espesor aproximado es de 500 Ft en la parte oriental del piedemonte llanero.

**2.8.2 Formación León.** Se caracteriza por el predominio de lutitas verde grisáceo, firme, fisil, laminar, astilloso. Localmente hacia la base se presentan intercalaciones menores de limolita, la cual es de color marrón amarillento oscuro,

sublaminar a subblocosa; moderadamente consolidada, con areniscas de grano fino a grueso, su espesor aproximado es de 450Ft.

**Tabla 5. Prognosis de las Formaciones**

<b>Tope de la Formación</b>	<b>MD</b>	<b>TVD (Elev. Ref)</b>	<b>TVD Subsea</b>	<b>ESPESOR [Ft]</b>
F. Guayabo	0	0	489	4524
F. León	5059	4524	-4035	735

Para un pozo ubicado en la cuenca de los llanos Orientales en el municipio de Trinidad, Casanare.

### **3. PROBLEMAS OPERACIONALES**

#### **3.1 ESTABILIDAD DEL POZO.**

La inestabilidad del pozo es la mayor fuente de problemas durante la perforación, pérdidas de tiempo y aumento en los costos. Generada cuando se somete la roca a esfuerzos superiores a su resistencia producto de la interacción entre las capas subyacentes con los productos y herramientas de la perforación.

Mantener estable el pozo mediante una buena planeación es fundamental. La selección de los fluidos de perforación adecuados, además de ratas de perforación y viajes de tubería aseguran el éxito de la operación. Debido a que un pozo inestable inicia con desprendimiento de las paredes del pozo generando un pozo pegajoso o un pozo apretado lo cual conlleva a problemas durante los viajes y una reducción en las ratas de perforación, por lo tanto bajo estas condiciones las pegas de tubería y derrumbes de pozo son frecuentes, los cuales pueden terminar en el colapso del pozo y su pérdida total o parcial el dado caso que se pueda realizar un sidetrack.

La inestabilidad del pozo es consecuencia de esfuerzos mecánicos y químicos o la combinación de ambos.

##### **3.1.1 Esfuerzos mecánicos**

- Perforación inadecuada. (altas o bajas ratas de perforación, esfuerzos de torque y arrastre, velocidad y frecuencia de los viajes de tubería.)
- Alto o bajo peso del lodo.

### 3.1.2 Esfuerzos químicos

- Tipo de fluido de perforación.

La inestabilidad del pozo de orígenes químicos es consecuencia de la transferencia de agua entre las formaciones arcillosas y el fluido de perforación. Las arcillas al entrar en contacto con el agua se hinchan y debilitan las paredes del pozo.

## 3.2 FACTORES QUE FAVORECEN LA INESTABILIDAD DEL POZO

**3.2.1 Baja permeabilidad de las arcillas.** Las arcillas se caracterizan por su alta porosidad y su baja permeabilidad, arcillas tienen rangos de permeabilidad desde  $1 \times 10^{-6}$  hasta  $1 \times 10^{-12}$  darcy. Por esas bajas permeabilidades no se presenta pérdidas de fluidos ni se genera torta en las paredes del pozo, en lugar, se genera un balance entre la presión del lodo y la presión de poro.<sup>20</sup>

La interacción entre la arcilla en los poros de la roca y las moléculas de agua, reaccionan con la estructura atómica generando cambios físico-químicos, en consecuencia se producen hinchamientos y derrumbes en la formación.

**3.2.2 Efectos capilares.** Los efectos capilares dependen principalmente del radio de la garganta de poro, la mojabilidad de la roca, la tensión interfacial y el Angulo de contacto. Debido a que las cavidades están llenas de agua, vapor, gas y algunas veces de pequeñas cantidades de metano<sup>21</sup>. La presión capilar está

---

<sup>20</sup> G.M Bol, SPE, and S.W. Wong, SPE, Koninklijke Shell E&P Laboratorium; C.J: Davidson, Shell Gabon; and D.C. Woodland, Petroleum Development Oman: Borehole Stability in Shales. Artículo SPE-24975-PA.

<sup>21</sup> M.A. Fam and M.B Dusseault, SPE, Porous Media Research Institute, PMRI; University of Waterloo, ON , Canada: Borehole Stability in Shales: A Physico-Chemical Perspective. Artículo SPE 47301-MS.

presente Cuando se genera un diferencial de presión debido a la invasión de los fluidos de perforación a los poros de las arcillas.

**3.2.3 Osmosis.** Difusión de moléculas de agua si la formación se comporta como una membrana semipermeable, se da por la diferencia de salinidades, alta salinidad en el agua del lodo y baja salinidad en el agua del poro<sup>22</sup>. El desequilibrio de salinidad tiende a estabilizarse con el flujo de agua de un medio a otro, cuando la salinidad del lodo es baja el flujo del agua se da desde el lodo hacia el poro por lo cual la presión de poro me aumenta, por otra parte, cuando la salinidad del lodo es alta el flujo del agua es desde la formación hacia el lodo lo que me causa deshidratación de la arcilla.

En la industria de la perforación, se considera preferiblemente minimizar el flujo de agua hacia las arcillas e incluso promover el flujo de agua desde la formación hacia el lodo. Esto significa que el lodo debe tener una menor actividad que el agua de formación lo cual se logra por medio de la agregación de sales (NaCl, KCL, CaCL<sub>2</sub>) al lodo para bajar su actividad.<sup>23</sup>

Los lodos base aceite son un buena alternativa a la hora de minimizar este tipo de efectos debido a la membrana que se crea en la interface del lodo-arcilla, la cual tiene el tamaño adecuado de orificios la cual permite el paso de las moléculas d agua con una restricción al paso de los iones disueltos en ella.

**3.2.4 Presión de poro.** Es el efecto del diferencial de presiones entre la presión de poro de la formación y la presión que ejerce la columna de fluido sobre las paredes del pozo. La presión del poro debe ser balanceada con el peso del lodo

---

<sup>22</sup> G.M Bol, SPE, and S.W. Wong, SPE, Koninklijke Shell E&P Laboratorium; C.J: Davidson, Shell Gabon; and D.C. Woodland, Petroleum Development Oman: Borehole Stability in Shales. Articulo SPE-24975-PA.

<sup>23</sup> M.A. Fam and M.B Dusseault, SPE, Porous Media Researrch Institute, PMRI; University of Waterloo, ON , Canada: Borehole Stability in Shales: A Physico-Chemical Perspective. Articulo SPE 47301-MS.

mediante una adecuada selección del fluido (lodo) a utilizar tomando como factor fundamental en los cálculos ingenieriles la densidad del fluido. Restringir el paso de fluidos del lodo a la formación y en sentido contrario es el objetivo principal ya que esto contribuye a la inestabilidad de la formación.

**3.2.5 Peso del lodo de perforación.** Baja eficiencia en la limpieza del pozo puede llegar a causar rápidos aumentos en el peso del lodo debido a la contaminación del mismo por el exceso de recortes, o prácticas de perforación inadecuadas que provocan cavernas o desprendimiento de las paredes. Este aumento se ve reflejado en una mayor presión ejercida por el fluido sobre las paredes del pozo, lo cual ocasionaría invasión de los fluidos en la roca o en casos más críticos el fracturamiento de la formación.<sup>24</sup>

**3.2.6 Plasticidad de las rocas.** Es la capacidad que tienen las rocas a deformarse al ser sometidas a un esfuerzo conservando la deformación al retirarse la carga. El contenido de agua es fundamental para la plasticidad en las arcillas, ya que si la arcilla se encuentra seca se disgrega y si la cantidad de agua es alta se dispersa.

El lodo debe tener el peso suficiente para balancear los esfuerzos producidos por la roca, generando una presión entre la presión de fracturamiento de la formación y la presión de colapso del pozo con el fin de evitar:

- Ensanchamiento del pozo debido a la fisuración o al colapso en las rocas frágiles.
- Deformación del pozo y pozo reducido debido al flujo plástico en las formaciones plásticas como la sal, causando la compresión del pozo hasta que se cierre.<sup>25</sup>

---

<sup>24</sup> RODRÍGUEZ R. y BRAVO M. Estudio De La Inestabilidad De Las Lutitas Durante La Perforación. Tesis de Grado. 1976.

<sup>25</sup> M-I SWACO SCHLUMBERGER COMPANY. Drilling Fluids Engineering Manuel.2006

Si el lodo es de alta densidad, ejercerá una presión mayor a la presión del poro dando como resultado la invasión de fluidos a la formación los cuales contribuyen con cambios físico-químicos de la roca, debilitando el cemento y aumentando el desmoronamiento de la misma.

**3.2.7 Hinchamiento de arcillas.** Fenómeno que se genera al entrar las formaciones arcillosas en contacto con los fluidos de perforación (lodos base agua), el hinchamiento aumenta el volumen y disminuye los esfuerzos al destruir el cemento natural entre las láminas de las arcillas.

El hinchamiento se da de dos formas: 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 del volumen total es relativamente pequeño. El hinchamiento osmótico ocurre solamente en ciertas arcillas del grupo de las esmécticas (en especial de las montmorillonita sódica), estas causan grandes incrementos en los volúmenes totales, pero el agua es mantenida ligeramente.<sup>26</sup>

Las arcillas con altas concentraciones de cargas negativas producen altas presiones de hinchamiento (50.000 psia +). Las arcillas frágiles son presionadas hacia el pozo por varios esfuerzos (esfuerzo de compresión del arco y esfuerzo de hinchamiento). Esto conlleva a la dispersión de las arcillas en el lodo con un aumento significativo de los finos suspendidos en él, lo que dificulta mantener las propiedades del lodo estables por lo cual se procede a un tratamiento del lodo como la agregación de floculantes o la disolución del mismo con volúmenes mayores de agua. Además de los problemas con el lodo, se presentan inconvenientes con el diámetro del pozo (formación de cavernas).

---

<sup>26</sup> MARTINEZ. Stefania. Rediseño De Los Fluidos De Perforación Base Agua En Yacimientos De Shale Gas Aplicado A Un Campo Colombiano. Tesis de Grado. 2013

Usualmente, el hinchamiento está acompañado por una reducción en la fuerza, en gran parte debido a que el hinchamiento causa micro fracturas que rompen los enlaces minerales de cohesión entre las láminas de la arcilla.<sup>27</sup>

**3.2.8 Pega de tubería.** La inestabilidad del pozo, más específicamente la inestabilidad de las formaciones son las causantes de las pegas de tubería. Esta se puede dar de dos tipos las pegas mecánicas y las pegas diferenciales.

El hinchamiento de las lutitas se da al perforar una sección de lutitas reactivas con un lodo base agua, las lutitas comienzan a aumentar su tamaño hasta atrapar la sarta de perforación impidiéndole su movimiento ascendente y descendente.

Los derrumbes se presentan al perforar lutitas presurizadas, formaciones fracturadas o falladas y formaciones no consolidadas. De estas formaciones se desprenden grandes cantidades de materia como arenas, grava o lutitas astillosas las cuales se van depositando en el anular generando obstrucciones, empaquetamiento en el pozo como resultado de perforar con un bajo peso del lodo el cual no es capaz de darle estabilidad a las paredes del pozo, estas situaciones se presentan cuando el pozo está en estado estacionario o durante viajes de la sarta y tubería de revestimiento cuando los recortes suspendidos en el lodo caen al fondo. Las formaciones móviles y la geometría del pozo también generar pegas mecánicas.

Una formación permeable junto con una presión diferencial y una sarta inclinada a la pared del pozo se da el escenario para una pega diferencial. La formación permeable me permite un exceso de flujo desde los fluidos de perforación hacia los poros al utilizar un lodo con un alto peso lo que me genera un revoque muy

---

<sup>27</sup> M.A. Fam and M.B Dusseault, SPE, Porous Media Research Institute, PMRI; University of Waterloo, ON , Canada: Borehole Stability in Shales: A Physico-Chemical Perspective. Artículo SPE 47301-MS.

grueso, en el cual la sarta de perforación al recostarse en las paredes del pozo queda pegada debido a la alta densidad del lodo y al diferencial de presión.

La pega diferencial y la pega mecánica son problemas operacionales que acarrearán una solución inmediata, las probabilidades de solución disminuyen exponencialmente con el tiempo, en algunos casos el uso de píldoras con fluidos especializados ayudan a devolverle al lodo sus propiedades originales permitiendo la continuidad de la operación, manejar la ratas de perforación adecuada según el tipo de formación y altas velocidades en el sistema de circulación del lodo previenen las pegas de tubería.

**3.2.9 Deshidratación de arcillas.** Las arcillas al igual que pueden sufrir hidratación también se pueden deshidratar, esto se genera al existir un paso de fluidos de la formación hacia el pozo, y es consecuencia del diferencial de presión o por efectos osmóticos. En consecuencia los fluidos de perforación se ven afectados con el cambio de sus propiedades reológicas como resistencia de gel o tixotropía. La deshidratación provoca el debilitamiento de la roca, generando derrumbes.<sup>28</sup>

### 3.2 PERDIDAS DE CIRCULACIÓN

La pérdida de circulación es el problema operacional durante la perforación más común alrededor del mundo. El cual se produce durante el flujo por el anular del fluido de perforación. Ha sido uno de los factores que más contribuye con a altos costos del lodo.<sup>29</sup> Además de ser responsable de la inestabilidad de pozo y pegas de tubería.

---

<sup>28</sup> MARTINEZ. Stefania. Rediseño De Los Fluidos De Perforación Base Agua En Yacimientos De Shale Gas Aplicado A Un Campo Colombiano. Tesis de Grado. 2013

<sup>29</sup> M-I SWACO SCHLUMBERGER COMPANY. Drilling Fluids Engineering Manuel.2006. Cap 14

La pérdida de circulación es el flujo descontrolado del fluido de perforación hacia la formación, formaciones muy porosas o poco consolidadas, fracturas o fallas y en cavernas naturales. Esta invasión de los fluidos se puede dar de forma inducida o de forma natural. Por lo tanto, se debe estar atento al momento exacto en el que se presenta la pérdida para poder identificar de que tipo es; (infiltración, parcial, total) así mismo de identificar la zonas de pérdida teniendo en cuenta bajo qué tipo de condiciones operacionales se generó.

**3.2.1 Pérdidas de circulación inducidas.** Las pérdidas de circulación inducidas se generan durante la perforación sobre balanceada, es decir con un lodo de alta densidad. Escenario en donde la pared del pozo no logran resistir la carga que el fluido le ejerce, este exceso de carga y aumento en la densidad se ve reflejado al realizar un mal planeamiento del pozo conjunto de una inadecuada lectura de presiones de poro o de gradientes de fractura. Un inadecuado control de sólidos e incorrectas condiciones mecánicas contribuyen a la invasión del fluido, toda operación o actividad que me genere una presión anormal en la columna del fluido tendrá como resultado pérdidas de circulación debido al fracturamiento de la formación.

Las pérdidas de circulación inducidas se dan por:

- Ubicación de forma incorrecta la tubería de revestimiento intermedio (sucede en el zapato).
- Altas presión de fondo.

Controlar de manera constante las presiones dinámicas y estáticas del pozo es la mejor forma de prevenir la pérdida de circulación inducida. La densidad del lodo se debe encontrar en el rango adecuado, sin exceder la presión de fractura con un monitoreo de sus propiedades reológicas. Los viajes de tubería generan presiones de suave y surgencia según su sentido, por lo cual es importante mantener la

velocidad adecuada de la tubería al igual que la velocidad de circulación del lodo y su salida por las boquillas.

**3.2.2 Pérdidas de circulación naturales.** Las pérdidas de circulación naturales ocurren cuando se perforan fracturas o formaciones no consolidadas, la broca encuentra formaciones con fisuras o canales de gran tamaño o una extrema porosidad interconectada de la formación.

Las pérdidas de circulación naturales se dan en:

- Formaciones de grano grueso.
- Formaciones depletadas.
- Zonas de cavernas o fisuras.

Identificar de manera anticipada las zonas ladronas es un factor determinante en el control de las pérdidas de circulación naturales, con el fin de determinar con anterioridad el material de pérdida de circulación a implementar o el tipo de píldora que se debe bombear para mitigar la pérdida.

El monitoreo constante de los tanques y del anular nos indica la velocidad de la pérdida del fluido, así mismo la cantidad de fluido extra que se necesita para suplir las pérdidas. Mediante la identificación del tipo de formación en que se encuentre las pérdidas se podrá determinar el tipo de material puenteante y el tipo de tapón a utilizar.

## **4. PRUEBAS DE LABORATORIO**

En el estudio del comportamiento de los fluidos de perforación las pruebas de laboratorio representan el escenario real a una menor escala en el cual se puede modelar y controlar de forma más fácil las variables a las cuales se ve sometido el fluido. Esto con el objetivo de comprender sus propiedades mediante una serie de resultados de las pruebas para poder predecir sus efectos a futuro bajo ciertos parámetros y condiciones.

### **4.1 REOLOGÍA.**

La medida de las propiedades reológicas de los fluidos de perforación nos indican la acumulación de sólidos durante las operaciones, en que proceso de enlace se encuentra, si el fluido presenta floculación o defloculación. La capacidad que posea de carga y suspensión de sólidos, todo esto es medido mediante un viscosímetro rotatorio el cual me permite calcular de forma directa la viscosidad plástica, el punto de cedencia y el esfuerzo de gel con el fin de poder calcular la hidráulica del fluido.

**Figura 17. Viscosímetro Electrónico**



**4.1.1 Procedimiento para la determinación de la viscosidad aparente, la viscosidad plástica y el punto de cedente.<sup>30</sup>**

- Colocar la muestra recién agitada dentro de un vaso térmico y ajustar la superficie del lodo al nivel de la línea trazada en el mango del rotor.
- Calentar o enfriar la muestra hasta 120°F. agitar lentamente mientras se ajusta la temperatura.
- Arrancar el motor colocando el conmutador en la posición de alta velocidad, con la palanca de cambio de velocidad en la posición más baja. Esperar que el cuadrante indique el valor constante y registrar la indicación obtenida a 600 RPM. Cambiar las velocidades solamente cuando el motor está en marcha.
- Ajustar el conmutador a velocidad de 300 RPM. Esperar que el cuadrante indique un valor constante y registrar el valor indicado para 300 RPM.
- Viscosidad plástica en centipoise : indicación a 600RPM – indicación a 300 RPM.

<sup>30</sup> M-I SWACO SCHLUMBERGER COMPANY. Drilling Fluids Engineering Manuel.2006

- Punto cedente en lb/100ft<sup>2</sup>: indicación 300RPM – viscosidad plástica.
- Viscosidad aparente en centipoise: indicación 600 RPM / 2

#### 4.1.2 Procedimiento para la determinación del esfuerzo de gel.<sup>31</sup>

- Agitar la muestra a 600RPM durante 15 segundos y levantar lentamente el mecanismo de cambio de velocidad hasta la posición neutra.
- Apagar el motor y esperar 10 segundos.
- Poner el conmutador en la posición de baja velocidad y registrar las unidades de deflexión máxima en lb/100ft<sup>2</sup> como esfuerzo de gel inicial. Si el indicador del cuadrante no vuelve a ponerse a 0 con el motor apagado , no se debe reposicionar el conmutador.
- Repetir las dos primeras etapas, pero dejar un tiempo de 10 minutos y luego poner el conmutador en la posición de baja velocidad y registrar las unidades de deflexión máxima como esfuerzo de gel a 10 minutos. Indicar la temperatura medida.

**Figura 18. Viscosímetro Electrónico RPM**



<sup>31</sup> M-I SWACO SCHLUMBERGER COMPANY. Drilling Fluids Engineering Manuel.2006

## 4.2 FILTRACIÓN.

Las pérdidas de fluido por filtrado y pozos apretados son problemas operacionales muy comunes, los cuales suceden cuando se presentan una serie de condiciones mínimas necesarias, un medio permeable sumado a la presencia de un fluido de perforación el cual me genere un diferencial de presión conjunto a la interacción química entre la roca el fluido son las causas de estos problemas. Los cuales se ven afectados por cambios en la temperatura y presión.

Debido a que el filtrado en el pozo se produce de forma estática y dinámica es necesario realizar pruebas de laboratorio que simulen estos procesos para analizar el comportamiento del lodo o fluido de perforación en todos sus escenarios a lo largo de su vida útil.

**4.2.1 Filtración a baja presión – baja temperatura.** La prueba de filtración de API a baja presión y baja temperatura es realizada a temperaturas ambiente en el rango de 70-140 °F y a una presión de 100 psi ejercida en la celda. Su duración es de 30 minutos, momento en el cual se mide y registra el filtrado en mililitros (ml) o centímetros cúbicos (cm<sup>3</sup>), además del filtrado se debe retirar cuidadosamente el papel filtro para medir el espesor del revoque o la torta del lodo el cual está indicado en 1/32 de pulgada, también se puede medir en milímetros (mm).

### 4.2.1.1 Procedimiento:<sup>32</sup>

- Mantener disponible una presión de aire o gas de 100 psi.
- Retirar la tapa de la parte inferior de la celda limpia y seca. Colocar la junta teórica en una ranura con buen estado y volver la celda al revés para llenarla.
- Llenar la celda con lodo hasta 1/4 pulgada de la ranura de la junta teórica. Colocar el papel filtro (whatman N° 50 o equivalente) encima de la junta

---

<sup>32</sup> M-I SWACO SCHLUMBERGER COMPANY. Drilling Fluids Engineering Manuel.2006

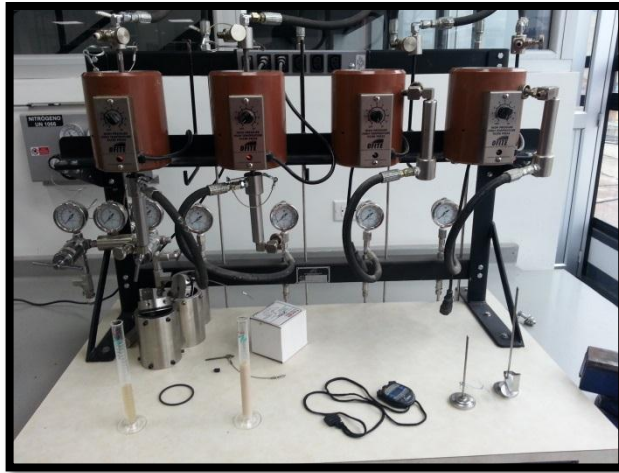
teórica. Colocar la tapa encima del papel filtro con las bridas de la tapa entre las bridas de la celda, y girar en sentido horario hasta que quede apretada a mano. Invertir la celda, introducir el empalme macho de la celda dentro del empalme hembra del filtro prensa y girar en cualquier sentido para bloquear.

- Colocar un cilindro graduado apropiado debajo del orificio de descarga del filtrado para recibir el filtrado.
- Abrir la válvula de entrada aplicando presión sobre la celda.
- La prueba API dura normalmente 30 minutos. Al término de la prueba cerrar la válvula. Después de desconectar la fuente de presión, la presión se purgara automáticamente. Retirar la celda.
- Registrar el filtrado en mililitros, a menos que se especifique de otra manera.
- Desmontar la celda, desechar el lodo y recuperar el papel filtro con mucho cuidado para perturbar lo menos posible el revoque. Lavar el revoque minuciosamente para eliminar el exceso del lodo. Medir el espesor del revoque y registrar la medida en 1/32 de pulgada.

**4.2.2 Filtración a alta presión - alta temperatura (HPHT).** Filtración de alta presión y alta temperatura se realiza con el fin de simular las condiciones de yacimiento a las cuales el fluido será sometido. Se realizan normalmente a 300°F de temperatura y 500 psi de presión, para su control se registra el filtrado como dos veces el volumen en mililitros (ml) obtenidos en un periodo de 30 minutos.

En este caso la filtro-prensa posee una envoltura calefactora alimentada por un termostato para brindar la temperatura deseada, además de un conjunto de platillos de presión para la celda.

**Figura 19. Equipo prueba HPHT**



**4.2.2.1 Procedimiento filtro prensa de ATAP de estilo API # I <sup>33</sup>:**

- Envuelta exterior calefactora montada sobre un soporte.
- Una celda de muestra con una presión de régimen de 1.000 psi (superficie de filtro de 3,5 pulg<sup>2</sup>).
- Termómetro a termocupla electrónica (indicaciones hasta 500°F).
- Regulador de montaje superior con la capacidad de regular 1.000 psi provenientes de cualquier fuente de presión utilizada.
- Receptor de filtrado (se recomienda uno de 100 ml) diseñado para soportar una contrapresión de régimen de por lo menos 500 psi.
- Cilindro graduado para captar el filtrado.

Las pruebas de filtrado HPHT, según a la temperatura que se realicen, su procedimiento variara en las pruebas superiores a 300°F e inferiores a 300°F.

---

<sup>33</sup> M-I SWACO SCHLUMBERGER COMPANY. Drilling Fluids Engineering Manuel.2006

#### **4.2.2.2 Procedimiento filtro prensa temperaturas inferiores a 300°F<sup>x</sup>.**

- Enchufar la celda exterior calefactora en el voltaje correcto para la unidad. Colocar el termómetro en la cubeta del termómetro proporcionada en la parte exterior de la envuelta.
- Precalentar la celda a 10°F por encima de la temperatura de prueba, y si es necesario, mantener esa temperatura ajustando el termostato. Verificar todas las juntas teóricas y realizar los reemplazos necesarios.
- Agitar la muestra del lodo durante 10 minutos y verter el lodo dentro de la celda, asegurándose que el vástago de válvula sobre el cuerpo de la celda este cerrado. No se debe llenar la celda a más de 1/2 pulgada de la parte superior del borde.
- Colocar un trozo de papel filtro (whatman N°50 o equivalente encima del borde)
- Asentar correctamente la tapa, alinear y apretar los tornillos prisioneros con cavidad hexagonal. Asegurarse que ambos vástagos de válvula estén cerrados y luego colocar la celda dentro de la envuelta calefactora.
- Transferir el termómetro a la cubeta del termómetro del cuerpo de la celda.
- Colocar la unidad de presión sobre la válvula superior y bloquearla con una clavija de cierre.
- Colocar el receptor de contrapresión inferior sobre la válvula inferior y bloquearlo.
- Aplicar una presión de 100 psi a ambas unidades de presión y abrir el vástago de válvulas superior dando un cuarto de vuelta en sentido anti horario.
- Cuando se alcanza la temperatura de prueba, aumentar la presión de la unidad de presión superior hasta 600 psi y abrir el vástago de válvula inferior dando un cuarto de vuelta en sentido horario para iniciar la filtración. El filtrado será captado en cilindro graduado durante un periodo de 30 minutos.

- Durante la prueba, la temperatura de prueba debería ser mantenida de más o menos 5°F. purgar una pequeña cantidad de filtrado cuando la contrapresión excede 100 psi.
- Después de 30 minutos, cerrar ambas válvulas y aflojar los tornillos en la T del regulador. Purgar el filtrado y la presión del receptor inferior y luego purgar la presión del regulador superior. Retirar el regulador y el receptor superiores. Retirar la celda de la envuelta calefactora y enfriarla a la temperatura ambiente, manteniéndola en una posición vertical.
- Mientras que la celda se esté enfriando, medir la cantidad de filtrado captado y doblar los resultados. Registrar los resultados en mililitros de filtrado, junto con la temperatura de la prueba.
- Una vez que la celda se ha enfriado, purgar con cuidado la presión del vástago situado enfrente del papel filtro. Cerrar la válvula y abrir el otro extremo con cuidado para purgar cualquier presión que esté presente.

#### **4.3 PERMEABILITY PLUGGING TEST (PPT).**

Las pruebas PPT se realizan con el objetivo de calcular las pérdidas de fluido bajo condiciones estáticas en condiciones de yacimiento (temperatura de fondo y presión diferencial). Esto se realiza por medio de la modificación de la filtro prensa para pruebas HPHT.

La medida del filtrado de los fluidos durante las PPT se puede dar en: pérdidas parciales y pérdidas totales de fluido, además de medir el espesor del revoque o de la torta y así lograr una mayor exactitud en las predicciones del comportamiento del fluido, como debe controlarse mediante el uso de aditivos que controlen las pérdidas de circulación hacia la formación, mejorando la estabilidad del pozo evitando las pegas diferenciales.

En las pruebas PPT se usa un disco de una medida de permeabilidad seleccionada en comparación del papel filtro en la celda HPHT, donde es importante el tamaño de poro del disco al analizar los resultados. Los cuales se encargan de simular la formación porosa. El tipo del lodo también representa un papel fundamental al momento de los resultados, debido a que no se deben realizar comparaciones entre tipos de fluidos diferentes.

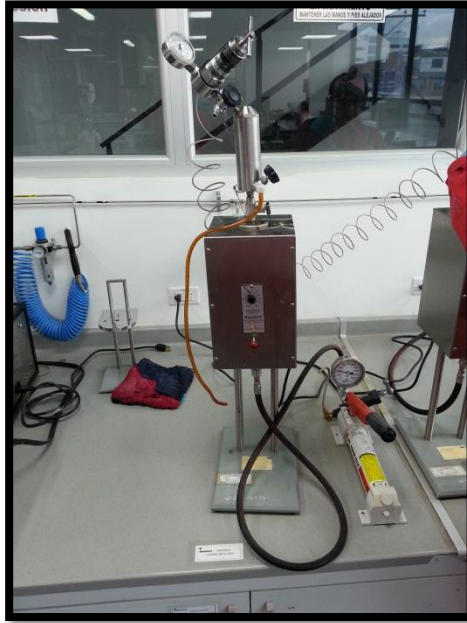
El parámetro más importante a considerar es el tamaño de radio de las partículas en el lodo y el tamaño de poro de la roca. Generalmente hablando, cuando el tamaño del radio de la partícula es menor a  $1/6$  al tamaño del poro, todo el lodo pasara a través de la formación y el puenteo no sucederá. Un radio de  $1/2$  o mayor formara una torta y valores intermedio mostraran invasión y puenteo hasta que se llegue al puenteo, si el radio es mayor a  $1/2$  la torta se formara. No se puede obtener control de pérdidas hasta que se forme la torta de filtrado.<sup>34</sup>

Debido a que la prueba PPT es útil para predecir como los fluidos de perforación forman la torta de baja permeabilidad para sellar y prevenir las pegadas diferenciales al realizar el test de filtración cuando se utiliza o se adiciona un material de taponamiento, esta debe ser usada tanto en laboratorio como en campo. La celda la cual es similar a las utilizadas en HPHT normalmente opera en un rango de presión de 2000-4000 psi, presurizándose generalmente mediante bombeo hidráulico con aceite hidráulico y un pistón flotador que evita que se mezclen los fluidos.

---

<sup>34</sup> BP & Chevron Texaco Drilling Fluids Manual

**Figura 20. Equipo PPT**



#### **4.3.1 Procedimiento<sup>35</sup>**

- Aplicar una capa delgada de grasa alrededor de los anillos del pistón flotador.
- Atornillar el pistón flotador fuertemente a la T-bar e instalar el pistón en el fondo de la celda. Mueva el pistón hacia arriba y hacia abajo para asegurarse de su libre movimiento (el fondo de la celda tendrá un receso más corto que la parte superior) ubicar el pistón de manera que se ubique cerca del borde del fondo de la celda y desatornillarlo.
- Instalar la tapa hidráulica de extremo en el fondo de la celda.
- Girar la celda hacia arriba y llenar con  $350\text{cm}^3$  de lodo.
- Aceptable: remoje los discos en agua por 5 minutos antes de examinar el lodo base agua. Para lodos base aceite los discos deben ser remojados en un aceite representativo por 5 minutos antes de usarse.

---

<sup>35</sup> BP & Chevron Texaco Drilling Fluids Manual

- Preferiblemente: ubique los discos en la apropiada solución. Ubicar en la celda vacía y evacue por 1 hora.

NOTA: un disco nunca debe ser reutilizado

- Instalar la tapa superior junto a la válvula en la celda. Cerrar la válvula e instalar la celda en la cobertura calefactora. Bajar la celda despacio hasta que el fondo este afuera, después rotar en el sentido de las agujas del reloj hasta que se cierre en el lugar correcto.
- Instalar el par termoeléctrico in el hueco pequeño en la parte superior de la celda.
- Ubicar el depósito de filtrado en la sima de la válvula. Asegurarse que el pequeño anillo este en buenas condiciones. Cerrar el depósito en el lugar por medio de la instalación de la llave de seguridad.
- Instalar el dispositivo de contrapresión en el depósito y cerrar el lugar con la llave de seguridad.
- Abrir la válvula directamente en la sima de la celda (válvula verde). asegurarse que las otras válvulas estén cerradas en el depósito y los dispositivos de contrapresión.
- Aplicar la medida apropiada de contrapresión en la celda para la temperatura de examen deseada usando CO<sup>2</sup> con el dispositivo de contrapresión. Una vez la contra presión es aplicada, se cierran la válvula en la celda (válvula verde) para atrapar la presión.
- Instalar el conector rápido desde la válvula de la bomba hidráulica hasta el final hidráulico de la celda (fondo final). Dejar la válvula negra de la bomba abierta.
- Calentar la celda hasta la temperatura deseada. Abrir la válvula en la celda (válvula verde).

- Cerrar la válvula en la bomba (válvula negra) y aplicar la presión deseada en la celda con la bomba.
- Una vez la presión aplicada es la deseada, se abre la válvula en el depósito y se recolecta el lodo y el filtrado en un cilindro graduado. Se continua a coleccionar el líquido hasta que el depósito este seco. Esto se debe registrar como una pérdida de esfuerzo.
- Cierre la válvula del depósito y mantenga la presión deseada en la celda con la bomba hidráulica (muchas bombas escapan un poco). La presión hidráulica va a ser necesaria aplicarse en la celda para mantener la presión en ella por 30 minutos. Monitorear el flujo por purgas en la celda cada 5 minutos y registrar el volumen.
- Después de 30 minutos, registrara la cantidad total de líquido recuperada (excluyendo las pérdidas de esfuerzo).
- Libere la presión en la bomba hidráulica y cierre la válvula superior.
- Remueva el conector hidráulico de la celda hacia la bomba.
- Descargue la contrapresión. Remueva el dispositivo contrapresión y repita el mismo proceso para el depósito. Remueva el depósito desde el tope de la celda y límpielo.
- Gire y retire la chaqueta calentadora. Permita que la celda se enfríe retirando la chaqueta calentadora o enfriando con agua fría.
- Abra la válvula superior despacio y remueva la presión atrapada. Repita este proceso varias veces hasta asegurarse que toda la presión fue removida de la celda.
- Remueva la tapa superior de la celda y gire la celda la parte de arriba hacia abajo. Remueva la tapa hidráulica final para descubrir el pistón flotador. Atornillar fuertemente la T-bar en el pistón y poco a poco presione hacia abajo para forzar el lodo y el disco hacia afuera de la parte opuesta de la celda.
- Recuperar el disco y la torta del filtrado. Lave la torta muy suave con agua fresca.

- Medir el espesor de la torta.
- Principalmente: graficar el volumen versus el cuadrado de la raíz del tiempo y calcule esfuerzos y daño.

NOTA: las pérdidas totales se calculan de la siguiente forma:

***Pérdida total de fluidos: (spurt loss cm<sup>3</sup>)+ [(2)\*(30 minutos)]***

- Desarme la celda completamente y limpiarla.

#### **4.4 HINCHAMIENTO LINEAL**

La prueba de hinchamiento lineal mide la velocidad y capacidad de expansión lineal no confinada de las arcillas, esto se da mediante el uso de granos de lutitas reconstruidos y sumergidos en un fluido de perforación a condiciones determinadas. El objetivo de la prueba es identificar el mejor fluido, el fluido que produce el menor hinchamiento y que lo disminuya rápidamente hasta un valor nulo.

Los resultados de la prueba se generan en el porcentaje de hinchamiento a partir del peso original y la tasa al final de la prueba, estos resultados pueden variar entre el 20- 150 % de las medidas iniciales. La prueba de hinchamiento lineal es usada para evaluar la inhibición de los aditivos.

##### **4.4.1 Procedimiento**

- Para obtener 50 gramos de muestra se debe secar la arcilla que se va a analizar y moler, disminuyendo su tamaño para ser sometida a pasar sobre

una malla #200. La muestra se selecciona del volumen de arcilla que pasa a través de la malla.

- Se humedece la arcilla (50 gramos) con agua destilada (2,5ml) y se pasa por la malla #100.
- Material del cual se pesa 20.5 gramos , se colocan en la celda del compactador bajo una presión de 1000 psi por un tiempo de 1 hora y 30 minutos para compactarla.
- Al cumplir el tiempo (1 hora y 30 min), se revisa la presión del compactador para poder retirar el bloque que se a formado y llevarlo a un desecador por 24 h.
- Al finalizar el desecador se pesa y mide la longitud del bloque.
- Se arma el equipo a utilizar con los bloques de arcilla previamente identificados, además, se ingresa la información al software con los siguientes datos: número del sensor, longitud del bloque, tiempos de medida, condiciones de la prueba (P, T).
- Se agrega el fluido de perforación a evaluar.
- Los resultados de la prueba de hinchamiento lineal son generados a través de gráficas generadas a lo largo del tiempo para mostrar los cambios de hinchamiento en un periodo de tiempo determinado.

**Figura 21. Equipo de Hinchamiento Lineal**



**4.4.2 Medidor de hinchamiento lineal<sup>36</sup>** El sistema de múltiples canales de 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 la 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

---

<sup>36</sup> Linear Swell Meter, Instruction Manual

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 reactividad de la lutita. Si se aumenta la temperatura, incrementara 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 la duración de la compactación y el contenido de humedad inicial.

**4.4.2 Preparación de la muestra.**<sup>37</sup> 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 variaran con el tipo de lutita.

**4.4.3 Preparación de muestras de núcleos reconstruidos.**<sup>38</sup> Se debe determinar el tipo de lutita a ser usada para esta prueba, esta pueden ser cortes

---

<sup>37</sup> MARTINEZ. Stefania. Rediseño De Los Fluidos De Perforación Base Agua En Yacimientos De Shale Gas Aplicado A Un Campo Colombiano. Tesis de Grado. 2013

<sup>38</sup> MARTINEZ. Stefania. Rediseño De Los Fluidos De Perforación Base Agua En Yacimientos De Shale Gas Aplicado A Un Campo Colombiano. Tesis de Grado. 2013

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 secaren 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 35 gramos de material de la muestra de lutita del desecador (se recomienda un poco más porque hay material que quede en las mallas).

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

**4.4.4 Compactación de la lutita.**<sup>39</sup> Ensamblar la tapa de la cámara del núcleo sobre la cámara del núcleo.

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.

---

<sup>39</sup> Linear Swell Meter, Instruction Manual

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 desecador al vacío, teniendo una solución de salmuera de cloruro de calcio en el 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 la prueba de hinchamiento.

**Figura 22. Celda de compactación de arcillas**



#### **4.4.5 Medición del hinchamiento lineal.<sup>40</sup>**

**4.4.5.1 Instalación del núcleo de lutita en el SLM.** Tomar un núcleo reconstituido del desecador, pesarlo y medir su longitud en pulgadas con un calibrador (registrar datos).

---

<sup>40</sup> Linear Swell Meter, Instruction Manual

Medir dureza del núcleo con un durómetro tipo D (Modelo 370L). anotar la dureza en la hoja de datos.

Apilar un disco espaciador 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 embolo deslizando el ensamblaje (disco muestra y teflón de la tapa) hasta el embolo y mirar que encaje en el lugar. Colocar un plato de evaporación sobre la mesa de 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.

**4.4.5.2 Encender el computador e iniciar el programa LSM** Seguir las instrucciones en la pantalla y entrar en 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.

## 5. IMPLEMENTACIÓN DE NANOMATERIALES Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.

A continuación se mostrara como se realizó la implementación de nanomateriales a los fluidos de perforación, además del desarrollo de las pruebas en el laboratorio para evaluar su viabilidad apoyada en el análisis de los resultados.

### 5.1 IMPLEMENTACIÓN DE NANOMATERIALES.

Partiendo de la formulación de un fluido de perforación base utilizado en la industria petrolera colombiana, con la siguiente composición y características:

**Tabla 6. Composición química fluido base**

<b>FLUIDO BASE</b>	
<b>Densidad</b>	<b>8,8ppg</b>
<b>PRODUCTO</b>	<b>[Conc.] lb/bbl</b>
Soda Caustica	0,3
Bentonita	3
Controlador de Filtrado	2
Goma Xanthan	0,5
Inhibidor de Arcillas	0,5
Carbonato M325	18
Carbonato M200	7

Se procedió a agregarle las diferentes concentraciones de nanosílice, nanosílice proveniente de dos productos comerciales en el mercado colombiano. El primer producto **sika stabilizer 100** de sika y el segundo es el **Nano Fluid PR** de aplika s.a, los dos productos se encuentran en estado líquido o líquido coloidal manteniendo como principal componente el nanosílice.

Figura 23. Productos nanosílice



Tabla 7. Concentraciones Nanosilice sika tabilizer 100

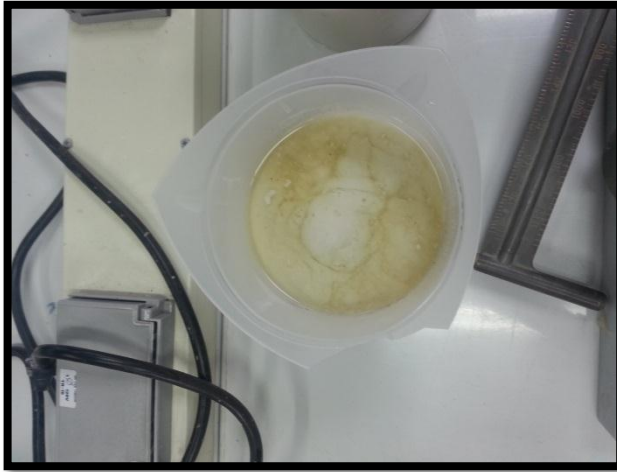
sika stabilizer 100		
Gravedad Especifica NS 1		1,1
Fluido	% v/v Nanosilice	[Conc.] ml/bbl
Fluido Base	-	-
Fluido + 1%	1	3,85
Fluido + 3%	3	11,55
Fluido + 5%	5	19,25

Tabla 8. Concentracion Nanosilice Nano fluid PR

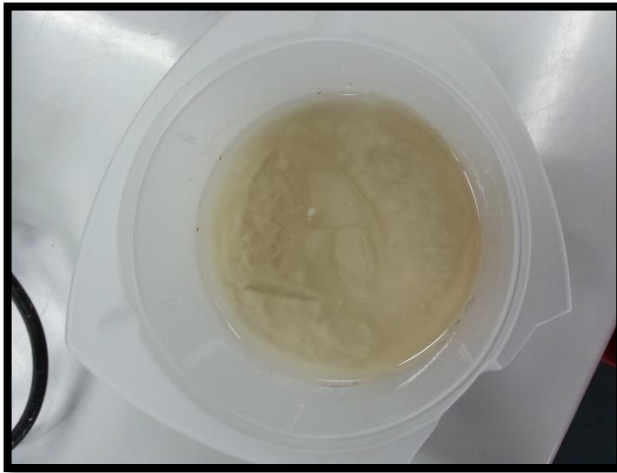
Nano fluid PR		
Gravedad Especifica NS 1		1,05
Fluido	% v/v Nanosilice	[Conc.] ml/ bbl
Fluido Base	-	-
Fluido + 1%	1	3,675
Fluido + 3%	3	11,025
Fluido + 5%	5	18,375

Al agregar los productos en las diferentes concentraciones al fluido base se observó que el producto Nano Fluid PR, me genera floculación en la formulación del fluido.

**Figura 24. Fluido floculado 5 min después de agregar producto.**



**Figura 25. Fluido floculado 24 h después de agregar producto.**



Por esta razón se tomó la decisión de solo realizar las pruebas de filtrado API, HPHT, PPT e Hinchamiento Lineal a las mezclas de fluido base con las concentraciones de nanosilice del producto *sika stabilizer 100*.

## 5.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO

**5.2.1 Hinchamiento Lineal.** Se realizó la prueba de hinchamiento lineal con el fin de observar el comportamiento de las arcillas en presencia del nanosilice, además de evaluar el posible uso del nanosilice como inhibidor.

**Figura 26. Prensa para crear pastillas de arcillas**



Se construyeron cuatro pastillas de arcillas para evaluar cada una de las mezclas, para formar cada pastilla se ubica el material arcilloso dentro de la celda a una presión de 7000 psi durante 30 minutos.

Al tener las cuatro pastillas de arcilla listas se procedió a armar las celdas de hinchamiento lineal, ubicando la pastilla y llenando con lodo, como se observa en la siguiente figura:

**Figura 27. Celdas Hinchamiento Lineal**

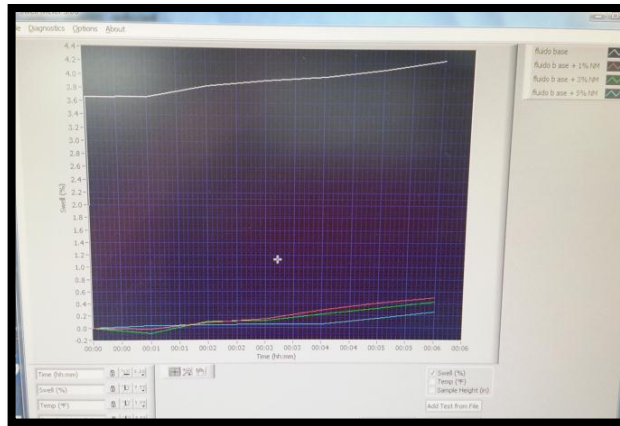


Al encender el software y ejecutarlo durante 43 horas 29 minutos y 23 segundos los resultados generados fueron los siguientes.

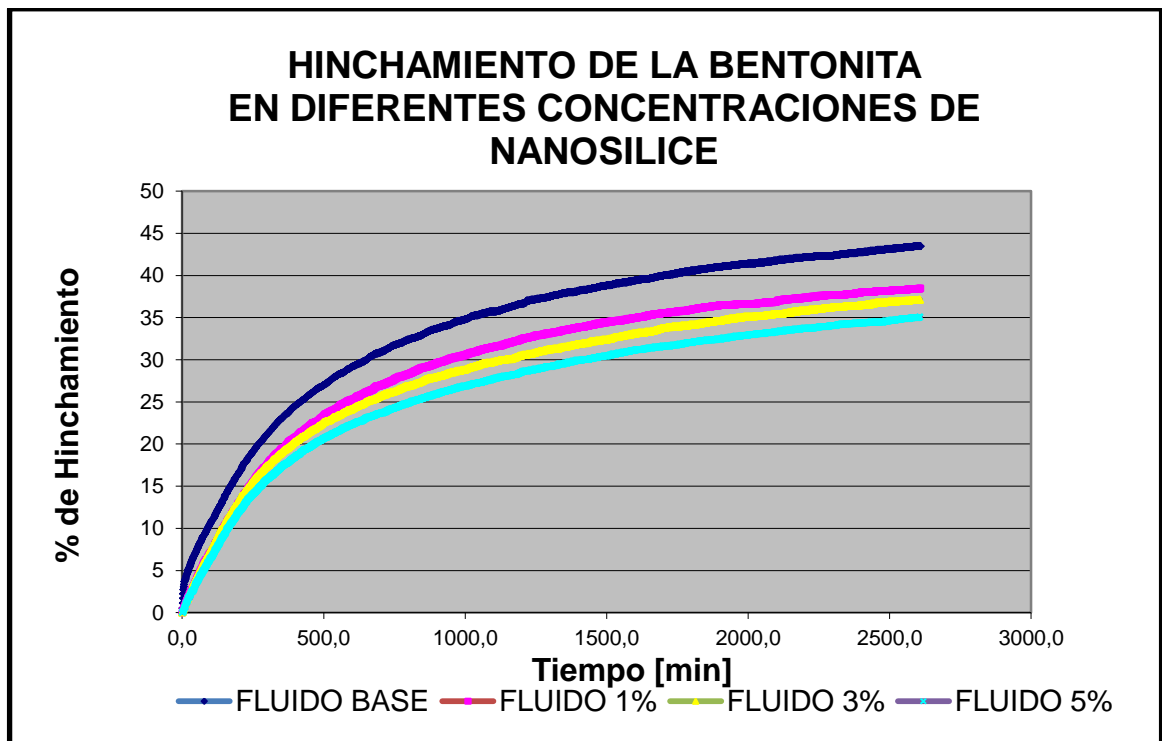
**Tabla 9. Resultados Hinchamiento Lineal**

<b>Fluido</b>	<b>% Hinchamiento Final</b>
Fluido Base	43,5
Fluido + 1%	38,5
Fluido + 3%	37,1
Fluido + 5%	35,1
<b>Tiempo: 43:29:23</b>	

Figura 28. Comportamiento a tiempos tempranos del Hinchamiento



Gráfica 1. Hinchamiento lineal para diferentes concentraciones de nanosilice



En la gráfica 1 podemos observar que el nanosilice si controla el hinchamiento de las arcillas, esto se da de una forma directamente proporcional a la concentración de nanosilice que se le adicione a la mezcla de fluido. El menor hinchamiento lo presento la mezcla con mayor concentración de nanosilice (Fluido +5%).

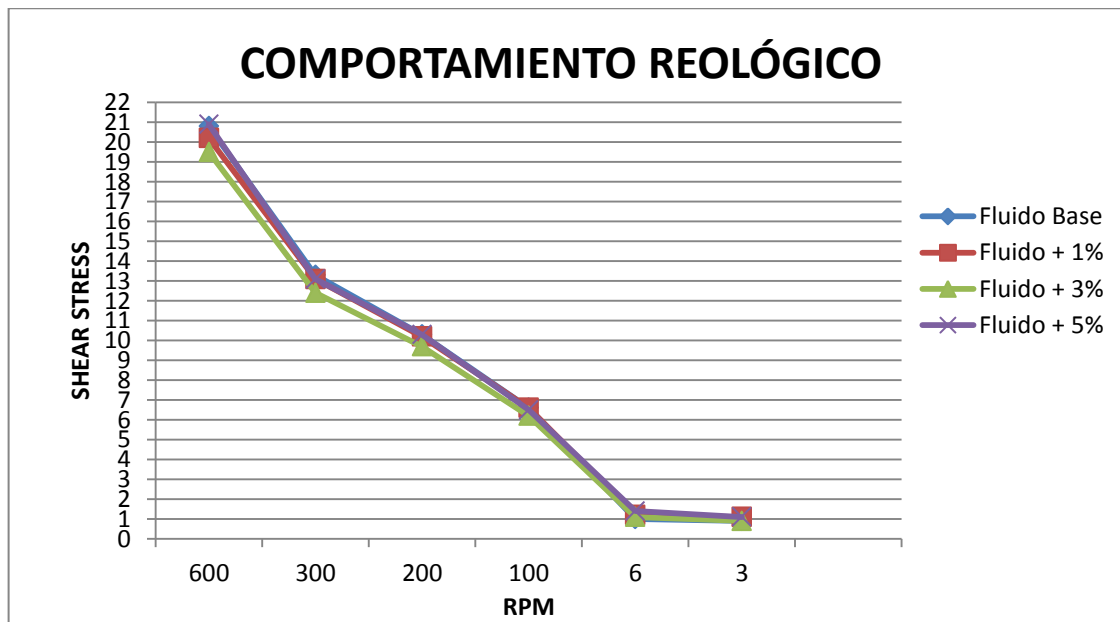
La reducción del hinchamiento se da en valores muy cercanos entre las diferentes concentraciones, con una diferencia notable entre el 5 y 8 % en comparación con el lodo base. Por lo cual el nanosilice presenta buenas características para actuar como inhibidor de arcillas.

**5.2.2 Reología.** Se le realizó reología a todas las mezclas a una temperatura de 135°F tomando los valores de  $\Theta$ 600 rpm,  $\Theta$ 300 rpm,  $\Theta$ 200 rpm,  $\Theta$ 100 rpm,  $\Theta$ 6 rpm,  $\Theta$ 3 rpm y geles a 10 seg y 10 min, para generar los valores de viscosidades plásticas, viscosidad aparente y punto de cendencia.

**Tabla 10. Resultados pruebas reológicas.**

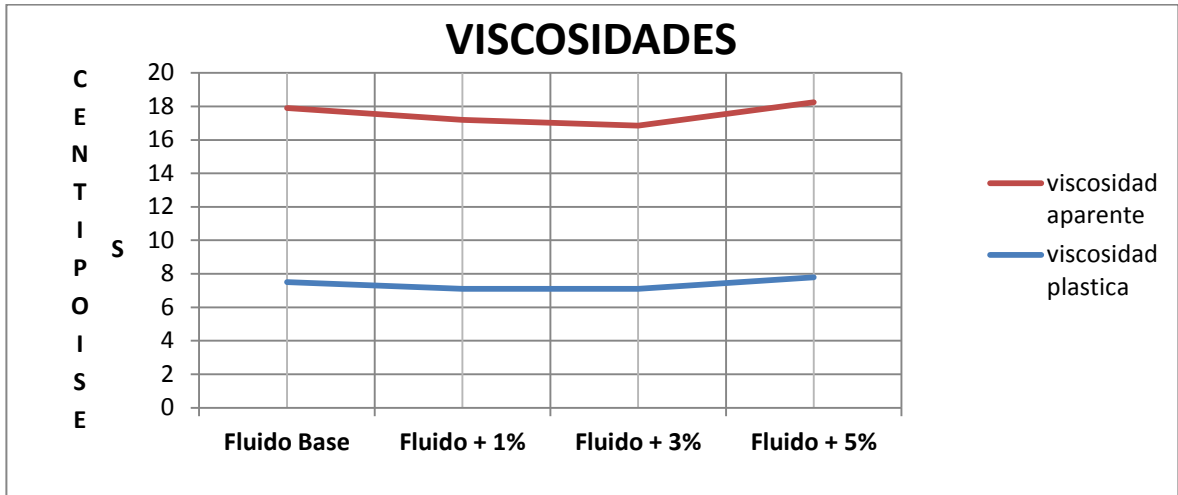
FLUIDO	TEMP. [°F]	PH	RPM						GELES		VP	VA	YP
			600	300	200	100	6	3	10 seg.	10 min.			
Fluido Base	135 °F	9,36	20,8	13,3	10,3	6,6	1	0,9	0,9	0,9	7,5	10,4	5,8
Fluido + 1%		9,45	20,2	13,1	10,2	6,6	1,2	1,1	1	1	7,1	10,1	6
Fluido + 3%		9,64	19,5	12,4	9,7	6,2	1,1	0,9	0,9	0,9	7,1	9,75	5,3
Fluido + 5%		9,7	20,9	13,1	10,3	6,5	1,4	1,1	1	1	7,8	10,45	5,3

**Gráfica 2. Comportamiento reológico**

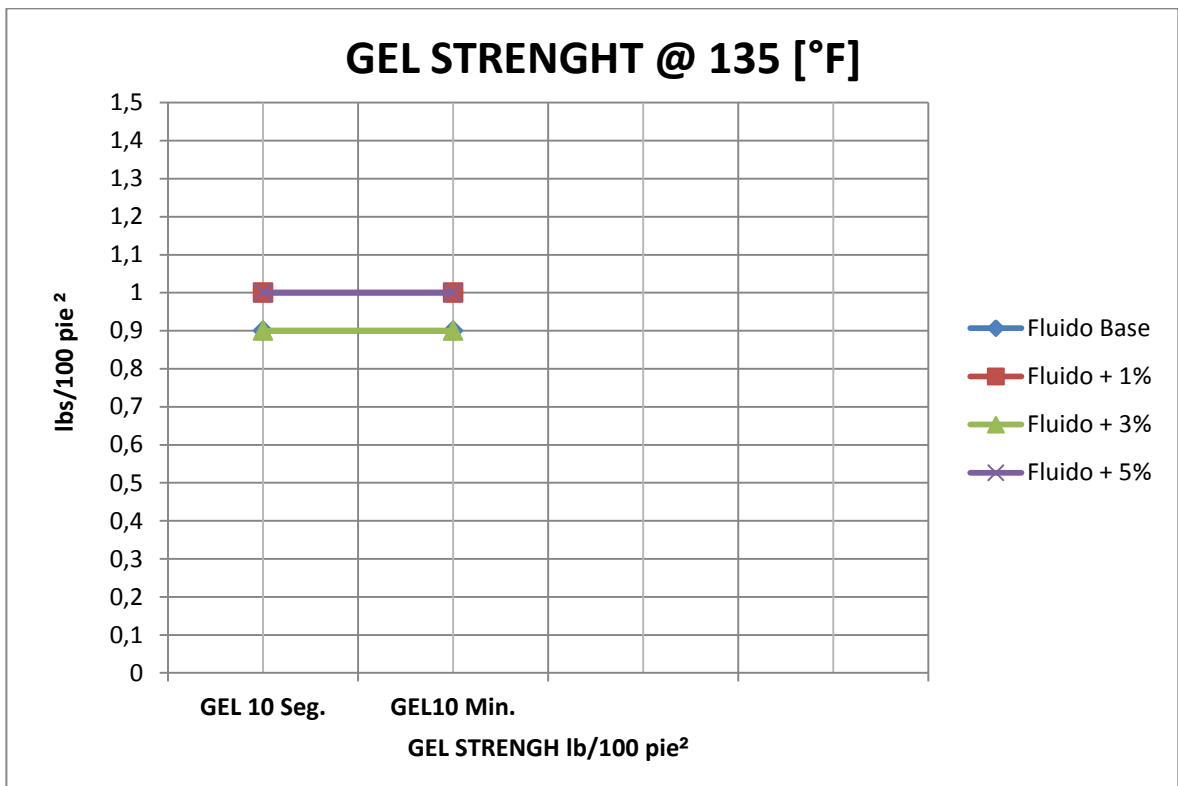


Del cuadro y la gráfica 2 podemos observar que el nanosilice es compatible con los fluidos ya que se observa que no varía la reología del lodo.

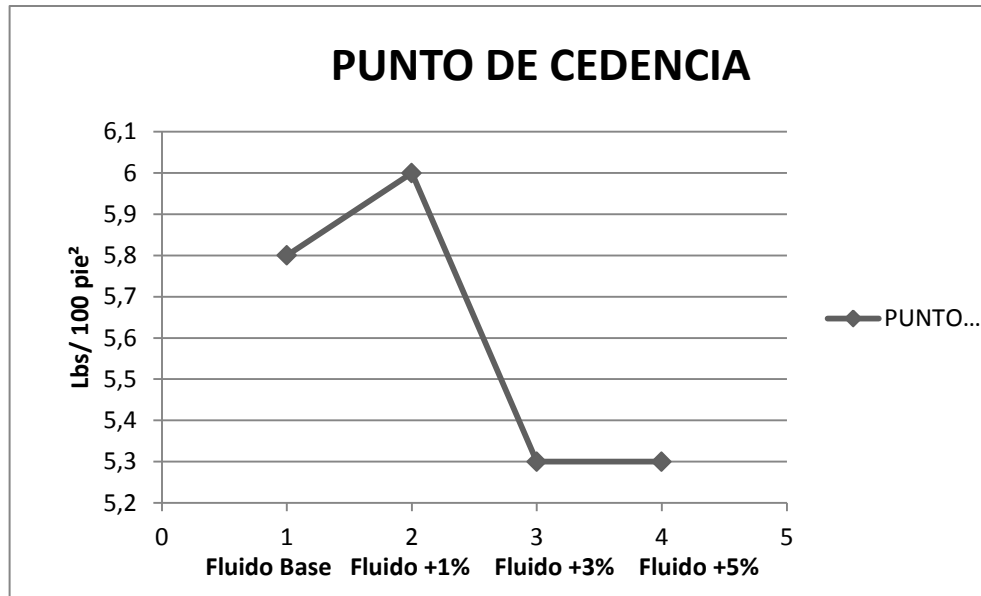
**Gráfica 3. Viscosidades de las mezclas**



**Gráfica 4. Geles de las mezclas**



**Gráfica 5. Puntos de cedencia de las mezclas**



De las gráficas 3, 4 y 5 podemos observar que el que las propiedades reológicas permanecen muy similares, las viscosidades permanecen en un rango de variación de 1 unidad y el comportamiento de geles es plano. El punto de cedencia disminuye a medida que aumenta la concentración de nanosilice en proporciones mínimas, menores a una unidad.

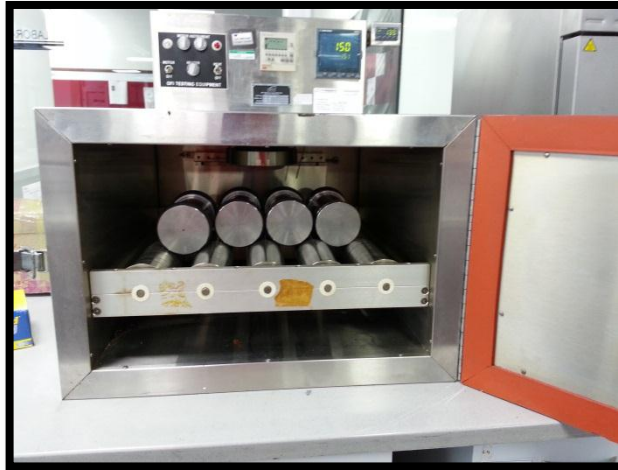
Los resultados anteriores rectifican la compatibilidad del nanosilice con el fluido de perforación.

**Tabla 11. Resultados de pruebas reológicas al fluido rolado.**

ROLADO DE 16h @ 150 [°F]													
FLUIDO	TEMP. [°F]	PH	RPM						GELES		VP	VA	YP
			600	300	200	100	6	3	10 seg.	10 min.			
Fluido Base	135 °F	8,89	20,5	12,8	9,8	6,1	0,9	0,7	0,5	0,5	7,7	10,25	5,1
Fluido + 1%		8,51	20,3	12,5	9,6	6	0,9	0,7	0,5	0,5	7,8	10,15	4,7
Fluido + 3%		8,25	20,5	13,1	9,9	6,3	0,9	0,7	0,5	0,5	7,4	10,25	5,7
Fluido + 5%		8,12	20	12,5	9,5	6	0,9	0,7	0,4	0,4	7,5	10	5

Para observar el comportamiento del nanosilice a un “envejecimiento” determinado el fluido fue sometido a proceso de rolado durante 16 horas a 150 °F, después de ser rolado el fluido se le realizo nuevamente las pruebas reológicas con el fin de observar algún tipo de cambio.

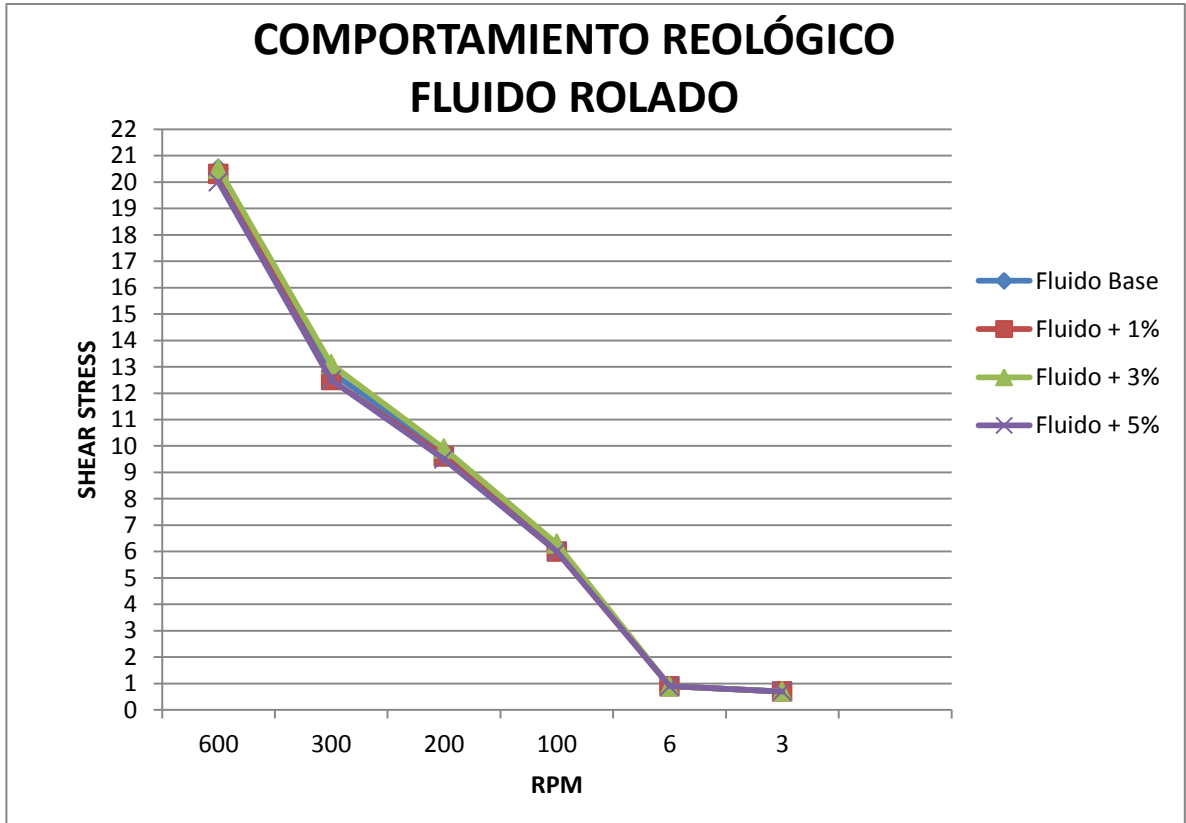
**Figura 29. Celdas de rolado**



**Figura 30. Horno de rolado.**

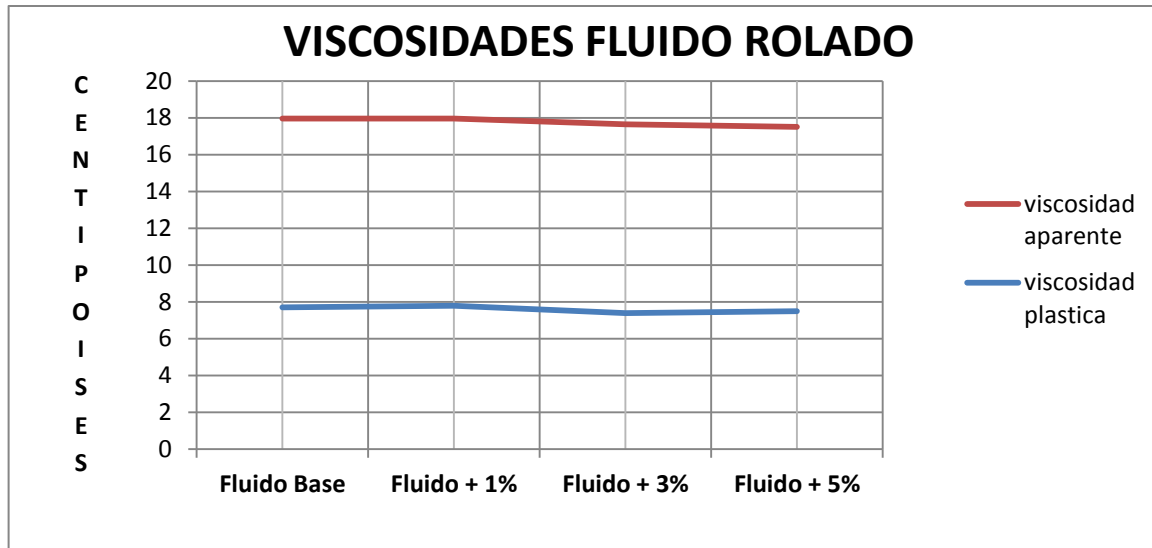


Gráfica 6. Comportamiento reológico rolado.



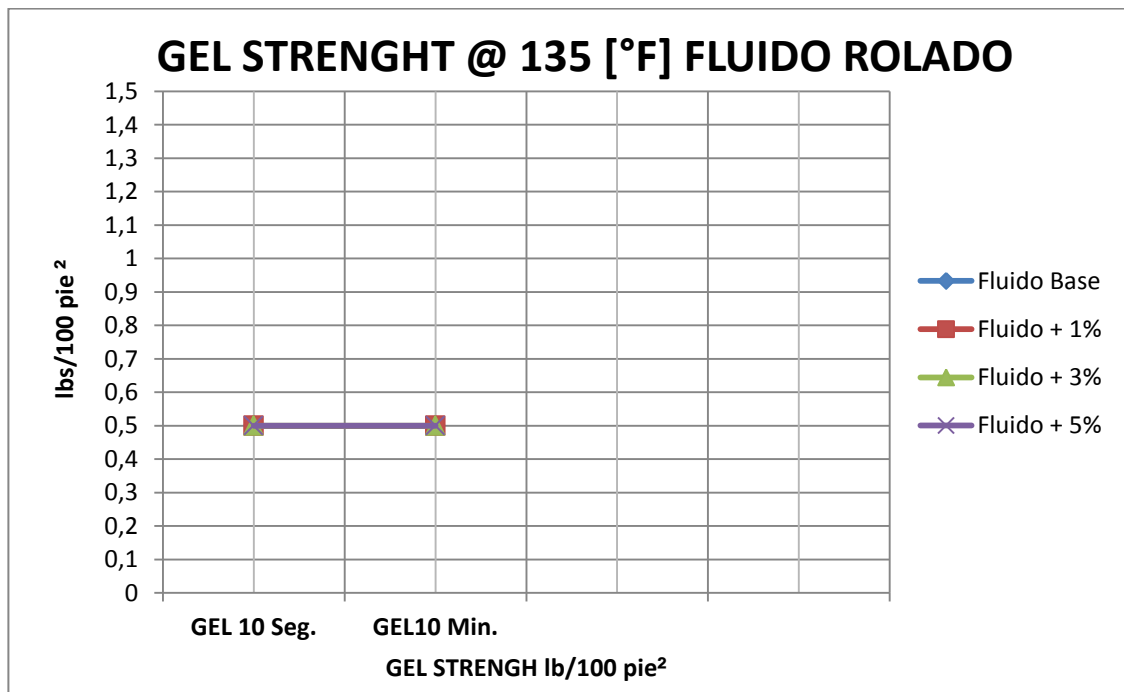
En la gráfica 6 se observa que el comportamiento reológico de las mezclas después de ser sometidas al rolado sigue presentando valores muy similares a a las mezclas iniciales. El mismo comportamiento se presente entre el fluido base y los fluidos con las diferentes concentraciones de nano sílice.

**Gráfica 7. Viscosidades de las mezclas roladas.**



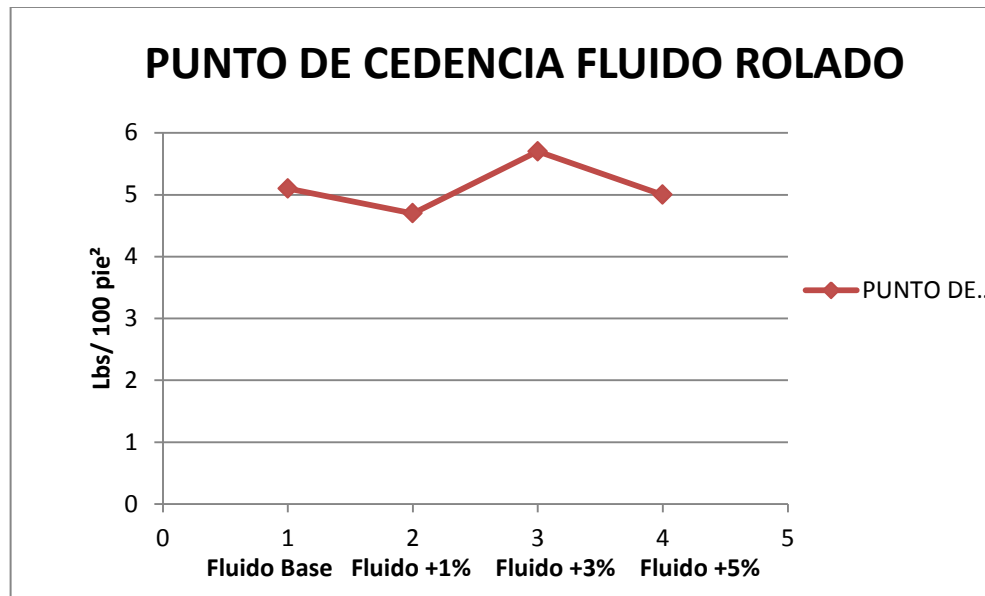
En la gráfica 7 el comportamiento de la viscosidad en los fluidos rolados se presenta de una forma más lineal, debido a que el intervalo de los valores tomados se redujo.

**Gráfica 8. Geles de las mezclas roladas**



Los esfuerzos de geles fueron los valores que presentaron una disminución notoria, esto pudo suceder debido a la degradación de algunos de los componentes del fluido, envejecimiento de las gomas o de las celulosas presentes.

**Gráfica 9. Puntos de cedencia de las mezclas roladas**



El punto de cedencia es el valor con el mayor cambio en su comportamiento, antes del rolado la tendencia se mantenía a mayor concentración, menor punto de cedencia. En este caso los valores de menor concentración bajaron y la concentración del 3% logra el valor del fluido base sin rolar.

Después de rolar los fluidos la concentración del 3% es la que presenta el mejor comportamiento con respecto al fluido base, esta concentración genera resultados similares al fluido inicial que no fue sometido al proceso de rolado.

### 5.2.3 Filtrado API.

Tabla 12. Resultados del Filtrado API

FILTRADO API°	
Fluido	Filtrado
Fluido Base	8,5 ml
Fluido + 1%	8,5 ml
Fluido + 3%	9 ml
Fluido + 5%	9,5 ml

Figura 31. Filtrado y Torta API

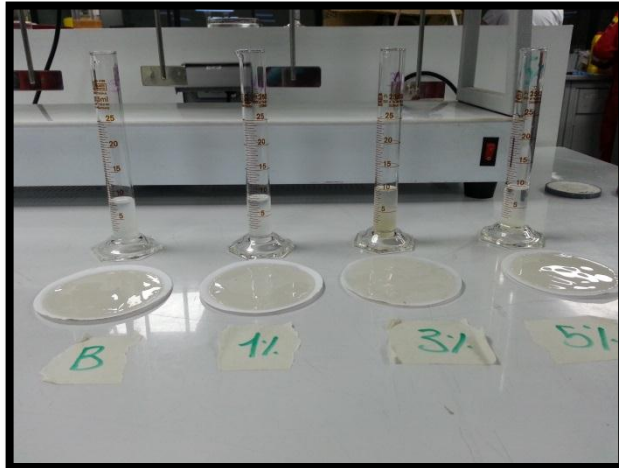
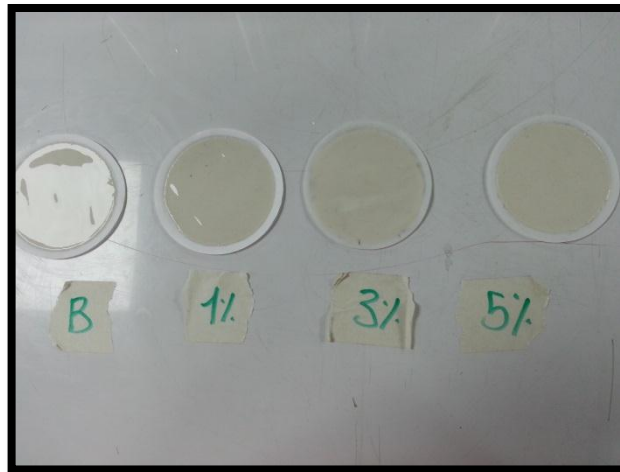
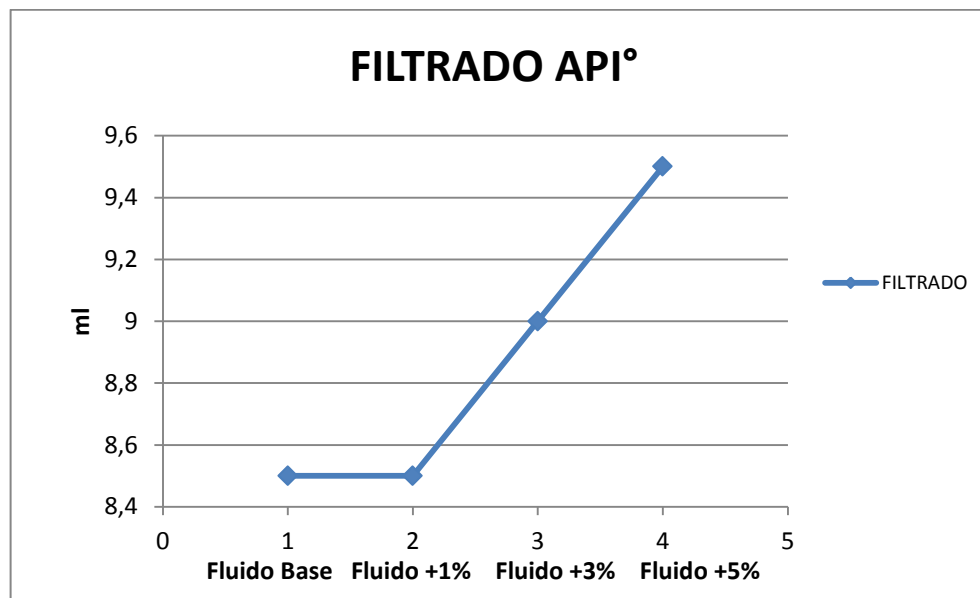


Figura 32. Torta API



Gráfica 10. Valores de Filtrado API



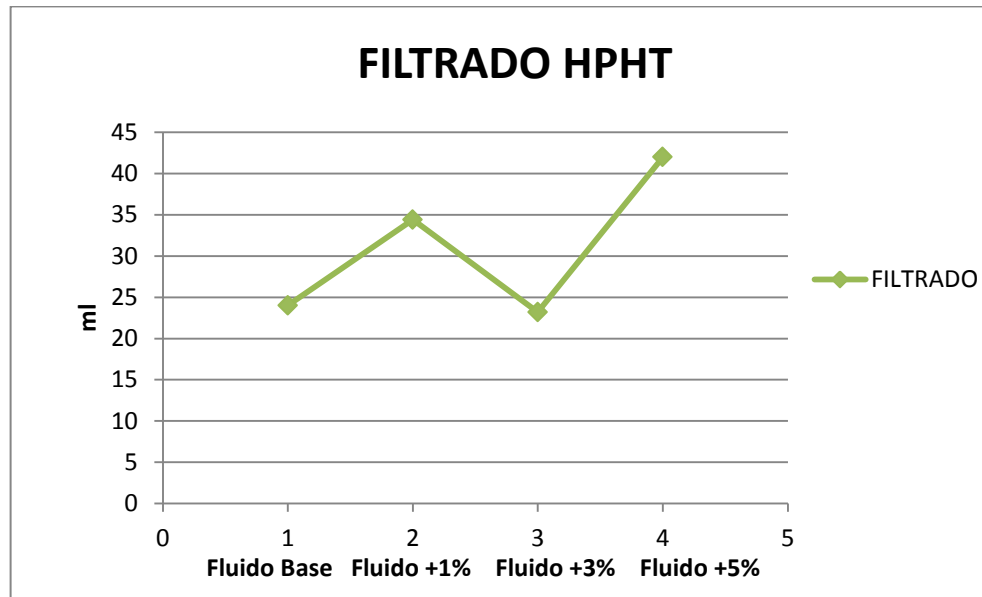
Los valores del filtrado se mantienen muy cercanos entre sí, en la gráfica 10 podemos observar que la presencia de nano sílice aumenta los valores del filtrado, a mayor concentración mayor filtrado. El aumento notoria se genera en el fluido del 3% en concentración de nano sílice el cual aumenta su filtrado en 0,05 ml con respecto a al fluido base y a la mínima concentración de nano sílice.

## 5.2.4 Filtración a alta presión - alta temperatura (HPHT).

Tabla 13. Filtrado HPHT

FILTRADO HPHT @ 180°F Y @ 600 psi		
Fluido	Filtrado Medido	Filtrado Reportado
Fluido Base	12 ml	24 ml
Fluido + 1%	17,2 ml	34,4 ml
Fluido + 3%	11,6 ml	23,2 ml
Fluido + 5%	21 ml	42 ml

Gráfica 11. Valores de Filtrado HPHT



Mediante la prueba de filtrado HPHT se observa que el mejor rendimiento bajo la simulación de las condiciones de yacimiento lo posee el fluido con el 3% de nano sílice. Como lo muestra la gráfica 11 es la concentración ideal la cual disminuye el filtrado, mejorando levemente los valores del fluido base.

### 5.2.5 Permeability Plugging Test (PPT).

Tabla 14. Valores de filtrado PPT

PPT @ 150°F @ 800 psi	Fluido Base	Fluido + 1%	Fluido + 3%	Fluido + 3%
<b>spurt loss</b>	1,4	10	3,2	1
1 min	0,6	1	1,4	13
5min	1,8	6	2,6	18,3
7,5 min	2,8	9	4	22,6
15 min	5,7	12	8,3	24,4
25 min	9,6	15	11	27
30 min	12,8	17	12,4	32
<b>Filtrado Total PPT</b>	27	44	28	65

El filtrado PPT nos muestra que la concentración del 3% de nano sílice es la que mantiene el valor más cercano al fluido base. La diferencia importante es en el spurt loss el cual presenta un valor alto que se va estabilizando a medida que se forma el sello.

Figura 33. Sello en los discos PPT



La prueba PPT consiste en la formación del sello en el momento que se produce el cambio de Presión y Temperatura simulando la entrada del fluido a la formación cuando se pasa del régimen laminar al turbulento.

En los discos se puede observar que la concentración 3% de nano sílice posee una distribución de partícula similar al lado base formando así un sello de las mismas características.

### **5.3 DISEÑO DE UN FLUIDO IMPLEMENTACIÓN DE NANOMATERIALES.**

Después de analizar todos los resultados de las pruebas de laboratorio, e identificar que la concentración del 3 % en volumen del nanosílice, puede ser una solución al hinchamiento de arcillas y el producto puede llegar a ser usado como inhibidor. Se continuó en búsqueda de las concentraciones del producto adecuadas para mejorar su rendimiento.

**Tabla 15. Composición del nuevo fluido**

<b>PRODUCTO</b>	<b>[Conc.] lb/bbl</b>
Soda Caustica	0,3
Bentonita	3,5
Controlador de Filtrado	2
Goma Xanthan	1
Inhibidor de Arcillas	0,5
Carbonato M325	18
Carbonato M200	7

Al cambiar las concentraciones de algunos productos con el fin de tener un control efectivo de la reología, además de mejorar la suspensión de cortes en condiciones estáticas y optimizar su transporte en condiciones dinámicas.

**Tabla 16. Reología del nuevo fluido**

FLUIDO BASE CON 1 LB DE GOMA													
FLUIDO	TEMP. [°F]	PH	RPM						GELES		VP	VA	YP
			600	300	200	100	6	3	10 seg.	10 min.			
Fluido Base	135 [°F]	7,7	42	29,8	24,4	17,5	5,4	4	4,5	4,5	12,2	21	17,6
Fluido + 3%		8,9	42,6	30	24	17,5	5,2	4,1	4,5	4,5	12,6	21,3	17,4

## 6. CONCLUSIONES

- El nanosilice del producto sika stabilizer 100 es compatible químicamente con los demás productos del fluido de perforación, lo cual se puede observar mediante la reología y el filtrado propiedades que no sufrieron cambios drásticos.
- La prueba de hinchamiento lineal indica que el nanosilice es un buen inhibidor de hinchamiento de arcillas, el cual puede disminuir hasta en un 15 % el hinchamiento bajo la concentración adecuada.
- Las pruebas de filtrados ( API, HPHT, PTT) y la formación de sellos en las mimas demuestran que el nanosilice no posee una distribución uniforme de partículas, por lo cual se forman canales que favorecen el filtrado. El nanosilice no es un buen controlador de filtrado.
- Los resultados coincidieron en que el 3% v/v de concentración de nanosilice es el valor adecuado para mantener las propiedades del fluido de perforación semejantes a su estado inicial.(sin producto)
- Las pruebas de laboratorio arrojaron un mejor comportamiento del nanosilice a tiempos tardíos, lo cual orienta la investigación sobre estos productos a la búsqueda del tiempo de efectividad del producto.

## 7. RECOMENDACIONES

- Tener presente que la evaluación del nanosílice se realizó con el producto en estado líquido, por lo cual se recomienda seguir investigando con un producto en estado sólido.
- Si se realizan pruebas de PPT sería viable evaluarlo en un disco con un menor tamaño de poro, al mismo tiempo de someterlo a más pruebas de rolado para observar su envejecimiento con el tiempo y cambio de condiciones de presión y temperatura.
- Realizar pruebas de retorno de permeabilidad con el fin de observar si el nanosílice produce daño a la formación.
- Realizar pruebas PSA (Particle size analysis) o PSD (Particle size distribution) para analizar la distribución de diámetro de la partícula y así poder determinar en qué tamaño de garganta de poro puede actuar.
- Las altas concentraciones de nanosílice bajo las condiciones adecuadas de presión, temperatura y tiempo de ejecución presenta solidificación. Por lo tanto, no se recomienda utilizarlo en todo el sistema sino en baches.
- El nanosílice se evaluó en un lodo que contenía celulosa, por lo cual se sugiere que se realice un estudio en lodos con almidones.
- Se recomienda evaluar el nanosílice en lodos base aceite.

## BIBLIOGRAFÍA

ARMA-92-0355

BP & Chevron Texaco Drilling Fluids Manual

Chenevert M. et al.: stabilizing sensitive shales with k-base drilling fluids. 1973.

Ec.europa.eu

Es.slideshare.net / Fermin Blanco / Nanosíllice-19015314

G.M Bol, SPE, and S.W. Wong, SPE, Koninklijke Shell E&P Laboratorium; C.J: Davidson, Shell Gabon; and D.C. Woodland, Petroleum Development Oman: Borehole Stability in Shales. Artículo SPE-24975-PA.

GARCIA ROMERO, EMILIA “Las Arcillas: Propiedades y Usos”, Universidad Complotense, Madrid.

Linear Swell Meter, Instruction Manual

M.A. Fam and M.B Dusseault, SPE, Porous Media Research Institute, PMRI; University of Waterloo, ON , Canada: Borehole Stability in Shales: A Physico-Chemical Perspective. Artículo SPE 47301-MS.

Manual De Educación Continua Halliburton

MARTINEZ. Stefania. Rediseño De Los Fluidos De Perforación Base Agua En Yacimientos De Shale Gas Aplicado A Un Campo Colombiano. Tesis de Grado. 2013

M-I SWACO SCHLUMBERGER COMPANY. Drilling Fluids Engineering Manuel.2006

[Osha.europa.eu/es/topics/nanomaterials](http://Osha.europa.eu/es/topics/nanomaterials)

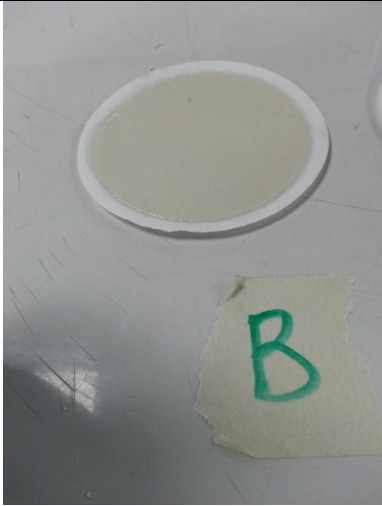
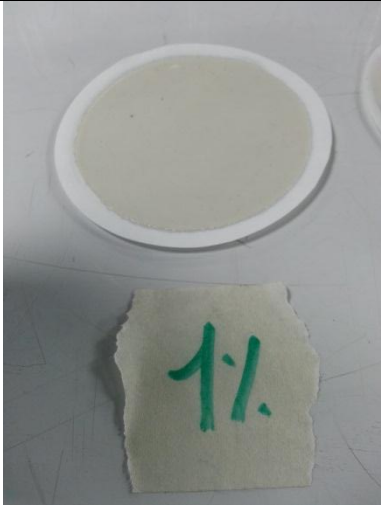
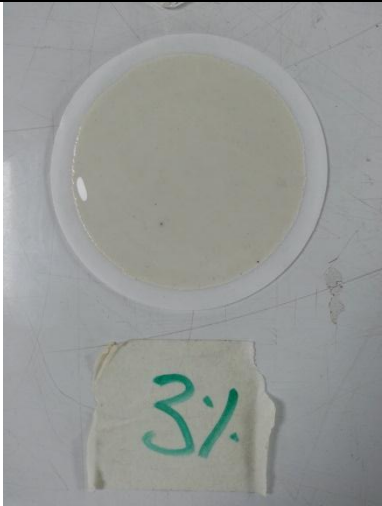
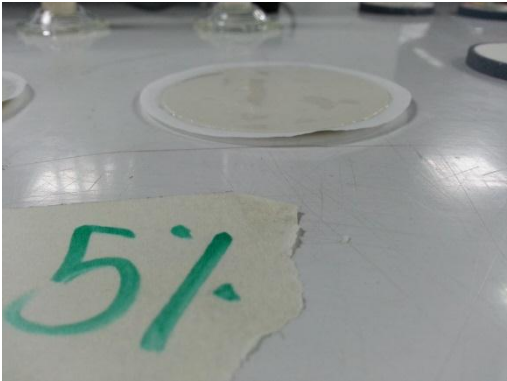
Petroleum Well Construction – Halliburton

RODRÍGUEZ R. y BRAVO M. Estudio De La Inestabilidad De Las Lutitas Durante La Perforación. Tesis de Grado. 1976.

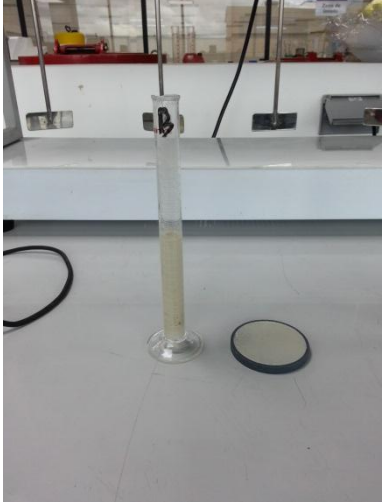

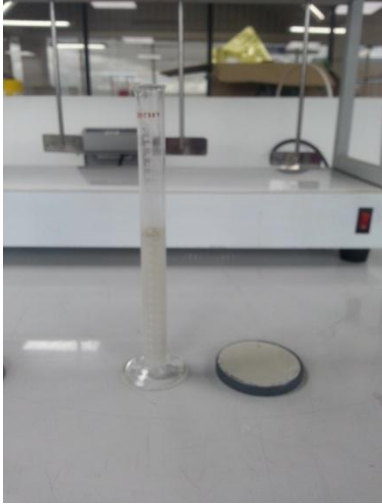
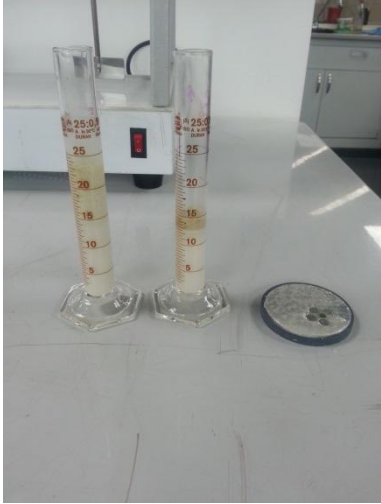
[www.aci-uni.org/](http://www.aci-uni.org/userfile/tesis-hincho.pdf) userfile/tesis-hincho.pdf

## ANEXOS

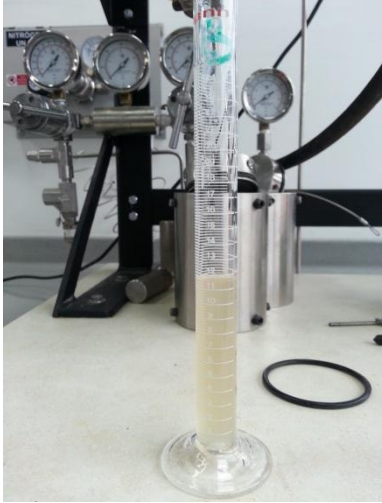

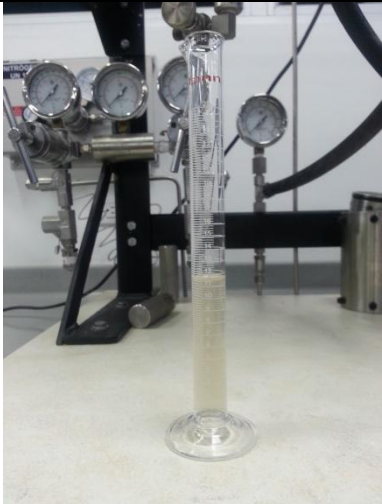
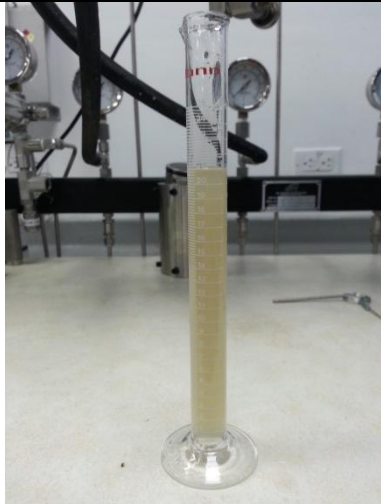
Anexo A. Fotografías de tortas Prueba Filtrado API, obtenidas en el laboratorio.

Fluido Base	Fluido Base + 1%
	
Fluido Base + 3%	Fluido Base + 5%
	

**Anexo B. Fotografías de sellos Pruebas PPT, obtenidos en el laboratorio.**

<b>Fluido Base</b>	<b>Fluido Base + 1%</b>
	
<b>Fluido Base + 3%</b>	<b>Fluido Base + 5%</b>
	

**Anexo C. Fotografías de filtrados Pruebas HPHT, obtenidos en el laboratorio.**

<b>Fluido Base</b>	<b>Fluido Base + 1%</b>
	
<b>Fluido Base + 3%</b>	<b>Fluido Base + 5%</b>
	

## Anexo D. MSDS de los productos.

	<b>NANO FLUID PR</b>	
	Versión 001-2011	Página 1 de 5
<b>FICHA TECNICA</b>		

### DESCRIPCIÓN:

**NANO FLUID PR** es un aditivo orgánico especialmente desarrollado para hormigón prefabricado. Es un aditivo de alta actividad con gran capacidad reductora de agua. Combina aditivos poliméricos de última generación con nanosílice. Pertenece a la gama **NANO fluid**, donde la aplicación de la nanosílice se realiza mediante un solo producto.

### USOS:

Dadas las propiedades del hormigón que incorpora **NANO FLUID PR**, principalmente su elevada fluidificación y las elevadas resistencias mecánicas, hace ideal este aditivo para:

Industria del hormigón prefabricado, armado, pretensado y pos tensado.

- Hormigón de altas prestaciones.
- Hormigón arquitectónico.
- Morteros de inyección.
- Industria de terrazos Monocapa y Bicapa.

### MODO DE EMPLEO:

- **NANO FLUID PR** se utiliza en dosis del 0,5 al 2 % sobre el peso del cemento. Lo ideal es contactar el servicio técnico APLIKA para optimizar su uso.
- **NANO FLUID PR** debe agregarse una vez mezclados los áridos con el cemento y después de haber echado al menos parte del agua correspondiente, para evitar así la absorción de parte del aditivo por los materiales. No disolver con el agua. No adicionar el producto sobre la masa seca de cemento y áridos.

 <b>APLIKA S.A.</b> <small>SOLUCIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN</small>	<b>NANO FLUID PR</b>	
	Versión 001-2011	Página 2 de 5
<b>FICHA TECNICA</b>		

- Cuando se trate de un hormigón para prefabricados, y si requiere un diseño especial, por favor contacte con nuestro Departamento Técnico.
- **NANO FLUID PR** puede ser utilizado en conjunto con otros aditivos de APLIKA, recomendándose realizar ensayos previos.
- En la producción, colocación y curado del hormigón se deben seguir las reglas de buena práctica establecidas por los reglamentos y códigos de construcción existentes.

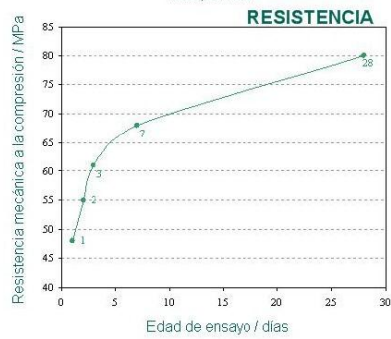
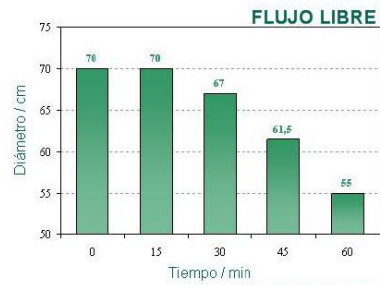
#### **DATOS TECNICOS:**

- No contiene cloruros, ni ningún ingrediente promotor de la corrosión, por lo que se utiliza sin problema en hormigón armado y pretensado.
- Hormigones de altas prestaciones, incluso resistencia mecánica a compresión superior a 70 MPa a 28 días.
- Asentamiento de 78 a 50 cm en 2 horas, para un hormigón con resistencia mecánica de 44 MPa a 1 día y 80 MPa a 28 días.
- Incremento de la resistencia mecánica a flexotracción del 50%.  
Evita en gran medida las eflorescencias y la diferencia de color en el acabado del hormigón.

Carrera 65 No. 35 – 78 • PBX: (4) 373 18 48 • Itagui • Antioquia • Colombia  
e-mail: aplikasa@une.net.co

**FICHA TECNICA**

EJEMPLO DE APLICACIÓN DE NANO fluid PR



 <b>APLIKA S.A.</b> <small>SOLUCIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN</small>	<b>NANO FLUID PR</b>	
	Versión 001-2011	Página 4 de 5
<b>FICHA TECNICA</b>		

**Propiedades físico-químicas del NANO FLUID PR**

<b>Aspecto Físico</b>	Líquido ligeramente viscoso
<b>Color</b>	Miel oscura
<b>pH a 20° C</b>	5,6 ± 1,0
<b>Densidad a 20° C</b>	1,06 ± 0,02 g/ml
<b>Extracto seco</b>	29,7 ± 1,5 %
<b>Contenido de cloruros</b>	< 0,1 %
<b>En caso de congelamiento del NANO FLUID PR puede ser utilizado si se descongela lentamente y se agita de forma intensa.</b>	

Cumple con los requisitos y especificaciones de "Aditivos para hormigones: Reductores de agua de alta actividad/súper plastificantes" de las normas ASTM C- 494. Tipos A y F. NTC 1299.

- Gran poder plastificante y reductor de agua.
- Incremento de la resistencia mecánica inicial y final.
- Muy reducida permeabilidad del hormigón, aumentando así su durabilidad potencial.
- No produce retrasos anómalos de fraguado.
- Ideal para hormigón prefabricado de baja relación agua/cemento.
- Evita la segregación y la exudación excesiva.
- Mejora el acabado y la textura de la superficie del hormigón.
- Mejora las propiedades geológicas de la pasta de cemento.

Carrera 65 No. 35 – 78 • PBX: (4) 373 18 48 • Itagui • Antioquia • Colombia  
e-mail: aplikasa@une.net.co

	<b>NANO FLUID PR</b>	
	Versión 001-2011	Página 5 de 5
<b>FICHA TECNICA</b>		

**PRESENTACIÓN:**

- Bidón de plástico de 225 kg
- IBC/Tank de 1.000 kg
- Granel

**ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE:**

Puede almacenarse durante 12 meses en su envase original cerrado, en lugar y protegido del sol, a temperatura entre 5 y 35 °.

**NOTA:**

**Aplikasa S.A.S** asegura que todos sus productos se fabrican de acuerdo a normas de exactitud y con toda la precaución razonable. La información técnica de la ficha es correcta según nuestra experiencia; y los productos como se venden y despachan cumplen para los fines que han sido fabricados. No obstante las variaciones en los materiales, superficies y condiciones de la obra, son tan particulares que no se asume responsabilidad alguna por los resultados que se obtengan como consecuencia de su empleo incorrecto o en condiciones que no estén bajo su control. Por eso recomendamos hacer pruebas representativas previo a su empleo.

Para consultas solicite asistencia técnica al PBX: (4) 373 18 48, móvil 312 831 96 76 o al correo electrónico [aplikasa@une.net.co](mailto:aplikasa@une.net.co)

HOJA TECNICA  
 Versión: 01/2012  
 Sikastabilizer 100

## Sikastabilizer®100

Silica Coloidal

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>Sikastabilizer 100</b> es un líquido transparente basado en silica coloidal.
<b>USOS</b>	<b>Sikastabilizer 100</b> es usado cuando se requiere controlar la estabilidad, la segregación y la pérdida de agua del concreto haciéndolo más cohesivo y resistente al ataque por sulfatos y cloruros.
<b>VENTAJAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incrementa la resistencia a edades tempranas.</li> <li>• Mejora las resistencias finales.</li> <li>• Disminuye la permeabilidad al agua y a los cloruros.</li> <li>• Mejora la cohesividad de concretos autocompactantes.</li> <li>• Disminuye el rebote en concretos proyectados.</li> <li>• Disminuye apreciablemente la penetración de aguas con cloruros y otras sales.</li> </ul>
<b>DATOS TECNICOS</b>	Apariencia: Incoloro y transparente líquido Densidad: 1,10 kg/l ± 0,02 kg/l
<b>MODO DE EMPLEO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se recomienda dosificar entre el 0.1% y 1.5% del peso del cemento.</li> <li>• <b>Sikastabilizer 100</b> es adicionado al concreto con el agua de mezclado, se recomienda el empleo de dosificadores por peso o volumen para una adecuada dosificación.</li> <li>• Utilizar acompañado de reductores de agua de alto poder</li> <li>• Limpiar los equipos con agua</li> <li>• <b>Sikastabilizer 100</b> es compatible con todos los aditivos <b>Sika</b> los cuales deben ser dosificados separadamente.</li> <li>• Se recomienda mezclar entre 90 y 180 segundos dependiendo del tipo de mixer.</li> <li>• Exceso en las dosificaciones puede afectar la manejabilidad</li> <li>• El efecto puede variar dependiendo del tipo de cemento usado</li> <li>• Se deben hacer evaluaciones con los materiales y bajo las condiciones de la obra para determinar la dosis ideal.</li> </ul>
<b>PRESENTACION</b>	Granel e IBC de 1000 litros
<b>PRECAUCIONES</b>	El uso de <b>Sikastabilizer 100</b> reduce el asentamiento inicial de la mezcla de concreto. Utilizar aditivos fluidificantes para transportar y colocar adecuadamente las mezclas de concreto adicionadas con este producto
<b>MEDIDAS DE SEGURIDAD</b>	Manténgase fuera del alcance de los niños. Usar guantes de caucho y gafas de protección durante su manipulación. Consultar la hoja de seguridad del producto. No utilizarlo en recintos cerrados no ventilados.



**ALMACENAMIENTO  
Y TRANSPORTE**

9 meses en su empaque original y bien cerrado, puede ser necesario agitación mecánica antes de su uso. Transportar con las precauciones normales para productos químicos.

**CODIGOS R/S**

R: 20/43  
S: 2/13/20/21/22/24/25/26/27/29/36/37

**NOTA** La información y, en particular, las recomendaciones sobre la aplicación y uso final de los productos Sika son proporcionadas de buena fe, basados en el conocimiento y experiencia actuales de Sika respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados y manipulados, así como aplicados en condiciones normales. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra son tan particulares que de esta información, cualquier recomendación escrita o cualquier otro consejo no se puede deducir garantía alguna respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad en particular, así como responsabilidad alguna que surja de cualquier relación legal. Se deben respetar los derechos de propiedad de terceros. Todas las órdenes de compra son aceptadas de acuerdo con nuestras actuales condiciones de venta y despacho. Los usuarios deben referirse siempre a la edición más reciente de la Hoja Técnica, cuyas copias serán facilitadas a solicitud del cliente. **Restricciones locales:** Tener en cuenta que como consecuencia de regulaciones específicas locales el funcionamiento de los productos puede variar de un país a otro. Consulte la Hoja de Datos locales para la descripción exacta de los campos de aplicación.



**Sika Colombia S.A.**  
Vereda Canavita - Km 20.5 - Autopista Norte  
Tocancipa, Cundinamarca  
PBX: 8786333 - Fax: 8786660  
e-mail: sika\_colombia@co.sika.com  
web: col.sika.com



Responsabilidad Integral



ISO 9001  
Icontec

Código: CO-SC 933-1



ISO 14001  
Icontec

Código: CO-SA 006-1

## Ficha de Datos de Seguridad

Según Directiva 91/155/EEC y Norma ISO 11014-1

Fecha de impresión: 28/ 04 /2010

Página 1/10

Revisión: 28/ 04 /2010

### \* 1. Identificación del producto y de la empresa

Identificación del producto:

Nombre comercial	Código
<b>Sikastabilizer-100</b>	<b>1422</b>

Información del fabricante/distribuidor

Fabricante/distribuidor:	Sika Colombia S.A.
Dirección:	Vereda Canavita km 20.5 Autopista Norte
Código postal y ciudad:	Tocancipá, Cundinamarca
País:	Colombia
Número de teléfono:	571 8786333
Fax:	571 8786660
Información general:	571 8786333 - País:01 8000 917452

Teléfono de urgencias:

CISPROQUIM  
Bogotá: 2886012 / 2886355  
Resto del país: 01 8000 916012

### 2. Composición/información de los componentes

Descripción química

Solución de ácido silícico coloidal

### 3. Identificación de peligros

Ver capítulo 11 y 12

### 4. Primeros auxilios

Instrucciones generales

Facilitar siempre al médico la hoja de datos de seguridad.

En caso de inhalación

Si se sienten molestias, acudir al médico.

En caso de contacto con la piel

Lavar la zona afectada inmediatamente con agua y jabón.  
Si persisten los síntomas de irritación, acudir al médico.

En caso de contacto con los ojos

Lavar los ojos afectados inmediatamente con agua abundante durante 15 minutos.  
Acudir inmediatamente al médico.

En caso de ingestión

No provocar el vómito.  
Requerir inmediatamente ayuda médica.

Revisión: 28/ 04 /2010

#### **5. Medidas de lucha contra incendios**

Medios de extinción adecuados:

Compatible con todos los agentes extintores habituales.

Riesgos específicos que resultan de la exposición a la sustancia, sus productos de combustión y gases producidos

En caso de incendio puede(n) desprenderse:

Monóxido de carbono (CO)

Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)

Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>)

Indicaciones adicionales

Los restos del incendio así como el agua de extinción contaminada, deben eliminarse según las normas locales en vigor.

El agua de extinción debe recogerse por separado, no debe penetrar en el alcantarillado.

#### **6. Medidas a tomar en caso de vertido accidental**

Precauciones individuales

Procurar ventilación suficiente.

Llevar ropa de protección personal.

En caso de exposición a vapores/polvo/aerosol, usar protección respiratoria.

Medidas de protección del medio ambiente:

Evitar que penetre en el alcantarillado o aguas superficiales.

En caso de penetración en cursos de agua, el suelo o los desagües, avisar a las autoridades competentes.

Métodos de limpieza

Recoger con material absorbente (p. ej. arena, aserrín, absorbente universal).

Tratar el material recogido según se indica en el apartado "eliminación de residuos".

#### **7. Manipulación y almacenamiento**

Manipulación:

Indicaciones para manipulación sin peligro

Ver capítulo 8 / Equipo de protección personal

Indicaciones para la protección contra incendio y explosión

No aplicable

Almacenamiento:

Exigencias técnicas para almacenes y recipientes

Mantener secos y herméticamente cerrados los recipientes y guardarlos en un sitio fresco y bien ventilado.

Indicaciones para el almacenamiento conjunto

Mantener alejado de alimentos, bebidas y comida para animales.

Nombre comercial: <b>Sikastabilizer-100</b>	Página 3/4												
Fecha de impresión: 28/ 04 /2010													
Revisión: 28/ 04 /2010													
7. Manipulación y almacenamiento (continuación)													
<p>Información adicional relativa al almacenamiento          Proteger de las heladas.          Proteger de temperaturas elevadas y de los rayos solares directos.          Proteger del agua y de la humedad del aire.</p>													
<b>8. Límites de exposición y medidas de protección personal</b>													
<p>Protección personal:          Medidas generales de protección e higiene          Proveer una ventilación suficiente o escape de gases en el área de trabajo          Evitar el contacto con los ojos y la piel.          Protección preventiva de la piel con pomada protectora.          Quitarse inmediatamente la ropa manchada o empapada.          No fumar, ni comer o beber durante el trabajo.          Lavarse las manos antes de los descansos y después del trabajo.</p> <p>Protección respiratoria          No aplicable</p> <p>Protección de las manos          Guantes de goma de butilo/nitrilo</p> <p>Protección de los ojos          Gafas protectoras</p> <p>Protección corporal          Ropa de trabajo</p>													
<b>9. Propiedades físicas y químicas</b>													
<p>Aspecto:          Estado físico: líquido</p> <table border="0"> <thead> <tr> <th>Datos signif. p. la seguridad</th> <th></th> <th>Método</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Punto de inflamación:</td> <td>no aplicable</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Densidad a 20°C</td> <td>1.1 g/cm3</td> <td></td> </tr> <tr> <td>pH a 20°C</td> <td>9 - 10</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Datos signif. p. la seguridad		Método	Punto de inflamación:	no aplicable		Densidad a 20°C	1.1 g/cm3		pH a 20°C	9 - 10	
Datos signif. p. la seguridad		Método											
Punto de inflamación:	no aplicable												
Densidad a 20°C	1.1 g/cm3												
pH a 20°C	9 - 10												
<b>10. Estabilidad y reactividad</b>													
<p>Materias que deben evitarse / Reacciones peligrosas          Almacenando y manipulando el producto adecuadamente, no se producen reacciones peligrosas.</p> <p>Descomposición térmica y productos de descomposición peligrosos          Utilizando el producto adecuadamente, no se descompone.</p>													

<p>Nombre comercial: <b>Sikastabilizer-100</b>  Fecha de impresión: 28/ 04 /2010</p>	<p>Página 4/4</p>
<p>Revisión: 28/ 04 /2010</p>	
<p><b>11. Informaciones toxicológicas</b></p> <p>Experiencia sobre personas  Contacto con la piel:  Puede causar irritación  Contacto con los ojos:  Puede causar irritación  Inhalación:  Puede causar irritación  Ingestión:  Puede causar perturbaciones en la salud</p>	
<p><b>12. Informaciones ecológicas</b></p> <p>Indicaciones adicionales  No permitir el paso al alcantarillado, cursos de agua o terrenos.</p>	
<p><b>13. Eliminación de residuos</b></p> <p>Producto  Recomendaciones  Observadas las normas en vigor, debe ser tratado en un centro de eliminación de residuos industriales.  Producto mezclado con cemento, y en estado sólido, puede ser eliminado como escombros.</p> <p>Envases/embalajes:  Recomendaciones  Envases/embalajes totalmente vacíos pueden destinarse a reciclaje.  Envases/embalajes que no pueden ser limpiados deben ser eliminados de la misma forma que la sustancia contenida.</p>	
<p><b>14. Información relativa al transporte</b></p> <p>Mercancía no peligrosa.</p>	
<p><b>15. Disposiciones de carácter legal</b></p> <p>Etiquetado de acuerdo con la Directiva CEE  Según Directivas CE y la legislación nacional correspondiente, el producto no requiere etiqueta.</p>	
<p><b>16. Otras informaciones</b></p> <p>El asterisco (*) en el margen izquierdo es una modificación de la versión previa.</p> <p>Uso recomendado: Producto químico para la construcción e industria</p>	
<p>La información contenida en esta Ficha de Datos de Seguridad corresponde a nuestro nivel de conocimiento en el momento de su publicación. Quedan excluidas todas las garantías. Se aplicarán nuestras Condiciones Generales de Venta en vigor. Por favor, consultar la Hoja Técnica del producto antes de su utilización.</p>	