

**NANOTECNOLOGIA APLICADA EN FLUIDOS DE PERFORACIÓN BASE AGUA  
PARA INHIBIR EL DAÑO DE FORMACIÓN**

**PROYECTO DE GRADO No. 20-01-19**

**MIGUEL ANGEL MENDOZA RAMIREZ**

**KATERIN KORAIMA ROJAS PERILLA**

Proyecto integral de grado para optar por el título de  
INGENIERO DE PETRÓLEOS

Orientador

CAMILO A. FRANCO

Ingeniero de petróleos

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
BOGOTÁ D.C

2021

NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Bogotá D.C, febrero de 2021

## **DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD**

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

**Dr. MARIO POSADA GARCÍA-PEÑA**

Consejero Institucional

**Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA PEÑA**

Vicerrectora Académica y de investigaciones

**Dra. MARIA CLAUDIA APONTE GONZÁLEZ**

Vicerrector Administrativo y Financiero

**Dr. RICARDO ALFONSO PEÑARANDA CASTRO**

Secretaria General

**Dra. ALEXANDRA MEJÍA GUZMÁN**

Decano General Facultad de Ingenierías

**Ing. JULIO CESAR FUENTES ARISMENDI**

Director del Departamento de Ingeniería de Petróleos

**Ing. JUAN CARLOS RODRIGUEZ ESPARZA**

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y los docentes no son responsables por las ideas y conceptos emitidos en el presente documento.

Estos corresponden únicamente a los autores.

## **DEDICATORIA**

### **Katerin Rojas**

Este trabajo de grado se lo dedico a mis padres Braulio Antonio Rojas Cruz (QEPD) Y Leidy Vivian Perilla Arias, a mi hermana Laura Rojas que ha sido mi inspiración, ejemplo a seguir y un pilar fundamental en todo mi proceso educativo, a mi compañero Miguel Mendoza y profesores que con su guía y apoyo doy por culminada exitosamente esta etapa.

### **Miguel Mendoza**

Este trabajo de grado se lo dedico a mi mamá Constanza Ramírez, a mi hermano Juan Camilo y a mis abuelos quienes me han formado y han hecho de mi la persona que soy hoy, a mi compañera Katerin Rojas y a mis docentes que me acompañaron en el desarrollo de este gran paso en vida.

## **AGRADECIMIENTOS**

**Geóloga Adriana Henao**, Por estar a nuestro lado en durante todo el periodo de realización de este proyecto, brindándonos apoyo, orientación, y valiosos consejos.

**Ingeniero Camilo Franco**, Por permitirnos conocer y trabajar bajo su dirección compartiendo su conocimiento, por su disposición, tiempo y apoyo, muchas gracias.

## TABLA CONTENIDO

INTRODUCCION	Pág. 10
1. MARCO TEORICO	Pág. 12
1.1 Nanotecnología	Pág. 12
1.1.1 <i>Técnicas de nanofabricación</i>	Pág. 12
1.2 Aplicación de la nanotecnología en la industria petrolera	Pág. 12
1.3 Fluidos de Perforación	Pág. 13
1.3.1 <i>Clasificación de los fluidos de perforación</i>	Pág. 13
1.3.2 <i>Funciones de los lodos de perforación</i>	Pág. 14
1.4 Antecedentes	Pág. 14
1.5 Pregunta de Investigación	Pág. 16
1.6 Justificación	Pág. 16
1.7 Hipótesis	Pág. 16
1.8 Objetivos	Pág. 17
1.8.1 Objetivo general	Pág. 17
1.8.2 Objetivo específico	Pág. 17
2. METODOLOGÍA	Pág. 18
2.1 Métodos de análisis documental o experimental	Pág. 18
3. RESULTADOS	Pág. 20
3.1 Aplicaciones de la nanotecnología en el comportamiento reológico de los lodos base agua	Pág. 20
3.2 Aplicaciones de la nanotecnología en la inhibición de lutitas	Pág. 23
3.3 Aplicaciones de la nanotecnología para evitar el rendimiento de la filtración y mejorar el espesor del mudcake	Pág. 27
3.4 Aplicaciones de la nanotecnología en la estabilidad térmica	Pág. 30
4. CONCLUSIONES	Pág. 32
BIBLIOGRAFÍA	Pág. 34
ANEXO 1	Pág. 40
ANEXO 2	Pág. 65
ANEXO 3	Pág. 96

## RESUMEN

Durante la perforación de un pozo, el proceso se ve afectado por tareas desafiantes en las que gran parte de la responsabilidad recae en el lodo de perforación y su correcta ejecución. Cada formación tiene características únicas y por lo tanto las propiedades reológicas de los fluidos de perforación son debidamente estudiadas para cumplir plenamente esta misión en la industria petrolera se han alcanzado grandes avances como la implementación de nanofluidos que gracias a sus propiedades están perfectamente acoplados al pozo.

El objetivo de esta investigación es reconocer la importancia del uso de diversas nanopartículas en los lodos de perforación a través de ejemplos de nanofluidos que han funcionado con éxito durante el proceso de perforación y que se centran en cuatro áreas específicas: la inhibición de la hinchazón de arcillas, el comportamiento reológico, el control del grosor del filtrado y de la retorta, así como la estabilidad térmica.

Como resultado, se obtiene un increíble rendimiento de los fluidos creados y utilizados en las pruebas, evitando la inhibición del hinchamiento de arcillas de hasta un 30% más que los lodos convencionales, reduciendo el volumen de filtración, alterando la viscosidad, el coeficiente de fricción de manera tan adecuada que se evidenció una reducción del riesgo de formación de daños de hasta un 51%.

**PALABRAS CLAVES:** Nanopartículas, Hinchamiento de Arcillas, Daño de formación, Lodos de perforación, Arcillas.



## **ABSTRACT**

During the drilling of a well, the process is affected by challenging tasks in which much of the responsibility falls on the drilling mud and its proper execution. Each formation has unique characteristics and therefore the rheological properties of drilling fluids are duly studied to fully accomplish this mission in the oil industry have been achieved great advances such as the implementation of nanofluids that thanks to its properties are perfectly coupled to the well.

The objective of this research is to recognize the importance of the use of various nanoparticles in drilling muds through examples of nanofluids that have worked successfully during the drilling process and focus on four specific areas: inhibition of clay swelling, rheological behavior, filtrate and retort thickness control, as well as thermal stability.

As a result, an incredible performance of the fluids created and used in the tests is obtained, avoiding the inhibition of clay swelling of up to 30% more than conventional muds, reducing the filtrate volume, altering the viscosity, the friction coefficient so adequately that a reduction in the risk of damage formation of up to 51% was evidenced.

**KEY WORDS:** Nanoparticles, Clay Swelling, Formation Damage, Clay, Drilling muds.

## INTRODUCCIÓN

El proceso de perforación es el responsable de la correcta conexión entre la superficie y el yacimiento. Esta actividad conlleva grandes riesgos, por lo que cualquier error podría generar un gran impacto, como los daños en la formación, que aumentarían exponencialmente la dificultad de extraer fluidos del yacimiento debido a los cambios en sus características originales. También podría desencadenar una serie de pérdidas de rentabilidad y un aumento de los costos de explotación para resolver los problemas que se presenten. Cada operación de perforación debe estar compuesta por tres sistemas que deben funcionar simultáneamente; estos son: sistema de rotación, sistema de elevación y sistema de circulación. En este último hay una parte importante del sistema que es el fluido de perforación, que es simplemente una mezcla de diferentes fluidos y aditivos que elimina los residuos de corte del pozo, estabiliza, soporta el pozo, lubrica y refrigera las herramientas de perforación [1].

Aquí es donde aparece la nanotecnología, como una efectiva herramienta que tiene la capacidad de reducir la pérdida de fluidos, lo que impide el equilibrio entre la presión hidráulica y la presión de los poros que podría generar un colapso inminente [2]. La capacidad de las nanopartículas, gracias a su pequeño tamaño, hace que tengan una efectiva dispersión en los fluidos de perforación, lo que genera que su desempeño en la inhibición de arcillas sea mejor que el de las sales u otros aditivos. Pero no es la única propiedad que tienen las nanopartículas aplicadas en los fluidos de perforación, también podrían mejorar la estabilidad térmica, la lubricidad y la filtración [3].

Incluso se ha demostrado la influencia que tienen los nano-fluidos en el rendimiento de los cementos al proporcionar un aislamiento completo, con el fin de evitar la eventual migración de fluidos, aportando soporte estructural y la protección del revestimiento contra la corrosión. Esto conlleva una reducción de los tiempos de fraguado, una larga vida útil y mejoras en los cementos microestructurales.[4]También se destaca el uso de nanopartículas en la recuperación mejorada del petróleo, donde gracias a su efecto positivo se han propuesto mecanismos como la separación por presión, el bloqueo de troncos y la alteración de la humectabilidad. [5].

Finalmente, en este trabajo se pretende mostrar el impacto generado por la aplicación de nanopartículas en los lodos de perforación, a través del efecto en el comportamiento reológico de los nanofluidos, sus aplicaciones en la inhibición del esquistos bituminosos, su influencia en el control del espesor de la filtración y la retorta y la estabilidad térmica que proporcionan. Ofreciendo una perspectiva favorable para la explotación de este tipo de nanotecnología, que no sólo contribuye al crecimiento científico, sino que, al cumplir las funciones descritas anteriormente, puede reducir significativamente los costos de los procesos de perforación en sus diversas aplicaciones [6].

# 1. MARCO TEÓRICO

## 1.1 Nanotecnología.

The national nanotechnology initiative define la nanotecnología como la comprensión y el control de la materia a nano escala, en dimensiones entre aproximadamente 1 y 100 nanómetros, donde fenómenos únicos permiten aplicaciones novedosas. Al abarcar la ciencia, la ingeniería y la tecnología a nano escala, la nanotecnología implica la obtención de imágenes, la medición, el modelado y la manipulación de la materia a esta escala de longitud. [7]

### 1.1.1 Técnicas de nanofabricación.

Existen dos (2) técnicas de fabricación de nanopartículas

- **Top-down**, la idea de este proceso es realizar la fabricación de la nanopartícula a partir de grandes materiales y posteriormente ir reduciendo su tamaño hasta llevarla a una escala nanométrica. Estos métodos normalmente conllevan costos energéticos elevados, una mayor imperfección en la superficie de la estructura, así como problemas de contaminación.[8]
- **Bottom-up** es el proceso de construcción de estructuras, átomo a átomo, o molécula a molécula. El grado de miniaturización alcanzable mediante este enfoque, es superior al que se puede conseguir con el top-Down debido a que, gracias a los microscopios de escaneado, se dispone de una gran capacidad para situar átomos y moléculas individuales en un lugar determinado. [8]

## 1.2 Aplicación de la nanotecnología en la industria petrolera.

En la cotidianidad de la industria petrolera se encuentran distintos retos que podrían llegar a ser resueltos aplicando nuevos conocimientos en este caso la nanotecnología. Ejemplo de ellos los llamados nanofluidos, los cuales son una mezcla que consiste en partículas de tamaño nanométrico (partículas de tamaño nanométrico de metal, oxido, carburos, nanotubos), y fibras dispersas en un líquido, el resultado de esta mezcla es la alteración de las propiedades físicas de la base líquida, tales como viscosidad, densidad y transferencia de calor, entre otros. Estas partículas son transportadas por el líquido en una suspensión, normalmente se denomina una dispersión coloidal, con la

creación de fluidos inteligentes se podrá evitar la aplicación de aditivos a los fluidos para que realicen cierta función en el pozo, como agentes espumantes, agentes humectantes, algún lubricante o dispersantes, inhibidores, adelgazantes, etc. y con un solo fluido podamos realizar alguna otra operación.

### **1.3 Fluidos de Perforación.**

Los fluidos de perforación o también llamados lodos de perforación se definen como una serie de fluidos que pueden líquidos o gaseosos o una mezcla de líquidos y sólidos (en forma de suspensiones de sólidos, mezclas y emulsiones de líquidos, gases y sólidos) que son utilizados durante las operaciones de perforación. [9]

#### ***1.3.1 Clasificación de los fluidos de perforación.***

Existen diversas clasificaciones de los fluidos de perforación de entre las cuales se destacan las siguientes:

- Lodos base de agua: Se define como un sistema que consta de una fase líquida continua (agua) en donde se encuentra suspendida la fase discontinua. Un lodo base agua común está compuesto por tres componentes: agua, sólidos reactivos (arcillas, dispersantes, antiespumantes, compuestos de sodio y compuestos de calcio) y sólidos inertes (Material densificante, material para control de pérdida de circulación).[10]

- Lodos base aceite: Este tipo de lodo a su vez se puede subdividir en dos.

Sistema de emulsión inversa: En este tipo de lodo el aceite constituye la fase continua mientras que el agua es la fase discontinua. Este tipo de fluidos se preparan generalmente a razón de 80% aceite, 18% agua y 2% agente emulsificante. Este tipo de lodo puede eliminar el riesgo de zonas productoras.[10]

Sistema de emulsión directa: En este sistema el aceite está disperso en la fase continua de agua que en algunos casos puede llegar a superar hasta el 50% de la mezcla. En este caso los emulsificadores hacen que el agua se emulsifique con el aceite y esto genera una estabilidad. Es importante mencionar que los emulsificantes deben ser solubles tanto en agua como en aceite.[10]

- Lodos neumáticos: En este caso se usa aire comprimido o gas natural como fluido de perforación. Para este tipo de practica es importante contar con una formación cuyo contenido de agua sea muy bajo y perforar bajo balance. [10]

### **1.3.2 Funciones de los lodos de perforación.**

Durante el proceso de perforación se debe garantizar que a pesar de las operaciones realizadas no exista un daño de formación. Para esto es importante que los fluidos de perforación cumplan las siguientes características:

- Control de las presiones del subsuelo.
- Levantar recortes de formación a superficie.
- Enfriar y lubricar la broca.
- Formar una capa impermeable en la pared del pozo.
- Evitar la corrosión de la herramienta.
- Alivianar el peso del casing.
- Asegurar la máxima información a través de los registros de perforación.
- Facilitar la cementación y completación del pozo.
- Minimizar el impacto al medio ambiente.[10]

### **1.4 Antecedentes.**

A través de muchos años de estudio se ha demostrado que el uso de nanopartículas en la perforación de lodos con base de agua (WBMD) podría mejorar el rendimiento reológico, incluso cuando las concentraciones de las nanopartículas están por debajo del 1wt% [11]. Esa mejora en el rendimiento reológico de los fluidos de perforación prevendría la pérdida de circulación, la inestabilidad del pozo, el atascamiento de la tubería y mejoraría la eficiencia de la recuperación. Este es un punto de estudio muy importante, alrededor del 70% de los problemas de inestabilidad en los pozos son consecuencia de la presencia de arcilla [12]. Estos problemas comienzan por la presencia de minerales como la esméctica, la caolinita y la montmorillonita en las arcillas, que tienen una gran afinidad con el agua presente en el fluido de perforación [13], debido a que cuando se ponen en contacto entre sí, los minerales reaccionan aumentando su volumen.

En las operaciones de perforación, los bits atraviesan secciones donde el compuesto principal son las arcillas, pero este porcentaje está condicionado por el tipo de cuenca y, por consiguiente, un tipo de litología característica con altos niveles de arcillas, que contiene minerales como la esméctica y la caolinita que generan intercambio catiónico cuando se mantienen en contacto con el lodo de perforación base de agua. Esto conllevaría al colapso de la estructura del pozo, pega diferencial, reducción de la tasa de penetración, pérdidas de circulación y aumento de los tiempos improductivos (NPT).

Para evitar los problemas de la interacción entre la arcilla y el agua, se utilizan aditivos en el fluido de perforación, que, dependiendo del caso, inhiben esa interacción. Pero un inhibidor en realidad es un material o químico que reduce la hidratación, la hinchazón y la degradación de las arcillas [14]. Estos aditivos pueden ser disueltos o suspendidos, lo que aumenta el peso del fluido, lo que a su vez significa que es un factor a tener en cuenta cuando se planifica la composición de las DMAE. Para inhibir las arcillas, los aditivos más comunes son las sales orgánicas de potasio, calcio y amonio (KCl, CaCl<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub>Cl) [15], incluso cuando este tipo de sales no toleran las condiciones del fondo del pozo, significa que se degradan a altas temperaturas y presiones. La utilización de las sales como aditivo en los fluidos como métodos de inhibición de las arcillas pueden llegar a generar dos grandes problemas.

Primero, se necesitan altas concentraciones de las mismas, lo que hace que el costo de la operación aumente, además, cuando este lodo salado entra en contacto con los residuos de la perforación, hace que estos necesiten un tratamiento especial. Aparte de las sales, se utilizan polímeros para inhibir las arcillas, sin embargo, generaría daños en el skin de la formación, tales como: reducción de la permeabilidad, y una eventual degradación de sí mismos que conllevaría la hinchazón de la arcilla. Pero esa no es la única forma de interacción entre la arcilla y el agua, también podría ser una reacción física o mecánica. Esta reacción relaciona la presión de los poros con la presión osmótica, esta última es generada por las diferencias en el potencial químico, es decir, hay una transmisión de presión del fluido de perforación, en forma de presión

hidráulica, a la formación de la arcilla que causa la inestabilidad [16]. Esto significa que hay una ósmosis inversa en el transporte de agua a la arcilla. Sin embargo, esa ósmosis inversa no sólo interactúa con la presión de los poros, sino que también interactúa con las fracturas, que pueden generarse fácilmente por la presión hidráulica en el proceso de perforación sobre equilibrio cuando la formación de la arcilla está seca, quebradiza [17].

En base a esto, la industria tiene la necesidad de desarrollar nuevas tecnologías para aumentar las propiedades reológicas de los fluidos de perforación, controlar los procesos de filtración, inhibición de lutitas y estabilidad térmica para así garantizar que no se produzca un daño a la formación.

### **1.5 Pregunta de Investigación.**

¿Qué efectos positivos genera en el proceso de perforación y en la formación la implementación de diferentes tipos de nanopartículas en la composición de lodos de perforación base agua a utilizar?

### **1.6 Justificación.**

Actualmente la industria petrolera requiere alternativas que contrarresten los riesgos presentes en los procesos de perforación de un pozo, todo esto conducido a el desarrollo de nuevas tecnologías aplicadas a la industria del Oil& Gas. Implementando nuevas técnicas y procesos notoriamente más eficientes como lo son puntualmente la implementación de nanopartículas, las cuales son conocidas por su versatilidad. En este específico caso se busca recomendar la nanopartícula más apropiada para disminuir diversos daños de formación, mediante su implementación como aditivo en un lodo de perforación base agua.

### **1.7 Hipótesis.**

Mediante la generación de un artículo científico se busca determinar las nanopartículas, que usadas como aditivos en lodos de perforación base agua, puedan disminuir la magnitud de diversos daños de formación.



## **1.8 Objetivos.**

### **1.8.1 Objetivo general**

Realizar el análisis comparativo de los diferentes usos de nanopartículas en la creación de lodos de perforación.

### **1.8.2 Objetivo específico**

- a.** Reconocer las principales aplicaciones de los nanofluidos en la industria del petróleo.
- b.** Recopilar distintos tipos de nanopartículas utilizadas para diferentes aplicaciones en la industria.
- c.** Analizar el efecto que conlleva el uso de nanopartículas en los lodos de perforación.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1 Métodos de análisis documental o experimental

Se realizó un compendio documental en diferentes bases de datos de carácter científico y de ingeniería con el objetivo de recopilar la mayor cantidad de artículos científicos de plataformas que ofrece la Universidad de América como One Petro, y ScienceDirect, además de plataformas de libre acceso como lo es Google Scholar, Incluso se revisaron ciertos artículos sugeridos por el director de tesis que respaldan teóricamente el objetivo del artículo realizado. Para esta búsqueda se realizaron filtros de tiempo con el fin de tener los artículos más recientes, de los últimos años. Igualmente se aplicaron filtros de búsqueda con las siguientes palabras clave: “Nanotechnology”, “Drilling”, “Fluids”, “FormationDamage”, “Rheology”, “Shale Inhibition”, “Mud Cake”, “Thermal”. Cumpliendo así a cabalidad los temas que se quieren desarrollar en el artículo a publicar.

A continuación, fue necesario leer el resumen y hacer una lectura rápida de cada uno de los artículos, se seleccionaron los más relevantes y aquellos que podrían aportar a la realización del artículo o que pudieran brindar soporte teórico a las temáticas planteadas dentro del mismo. De esta manera seleccionando dichos artículos que se clasificaron en 4 grupos temáticos: mejora del desempeño reológico, inhibición de arcillas, disminución del filtrado y mejora en el espesor del mudcake, y, por último, estabilidad térmica.

Tras una lectura minuciosa de cada artículo por separado y al analizar el efecto de las nanopartículas como aditivo en lodos de perforación base agua. Igualmente realizando un análisis a los resultados demostrados por los autores en cada artículo, se destacaron los aspectos más relevantes en donde las nanopartículas desempeñaron un papel de amplificador de las propiedades. Ya con esta información se generó un análisis comparativo entre las nanopartículas usadas en un mismo daño de formación comparando sus mejoras porcentuales a la menor concentración estudiada, evaluando las mejores nanopartículas para disminuir cada daño de formación.

Finalmente, se realizan recomendaciones de nanopartículas y tipos de nanopartículas para aumentar el desempeño reológico de los lodos, disminuir el filtrado API, aumentar el espesor del mud cake, inhibir arcillas con mayor eficiencia y mejorar la estabilidad térmica de los fluidos de perforación.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Aplicaciones de la nanotecnología en el comportamiento reológico de los lodos base agua.

Tabla 1. Tratamiento del comportamiento reológico.

<p>Nanopartículas de sílice</p>	<p>El método para evaluar la mejora del rendimiento reológico que tiene una nanopartícula de sílice en un WBMD es sencillo, basta con diseñar el lodo, evaluar su rendimiento reológico con la ayuda de un reómetro, luego añadir el número de nanopartículas necesarias y finalmente volver a evaluar el rendimiento reológico. Siendo meticulosos con los cuatro pasos mencionados para el caso de estudio, el diseño del lodo de perforación se basó en la especificación de la norma API para lodos de perforación a base de agua, cuyas características son: 287,7 cm<sup>3</sup> de agua desionizada, 18 g de bentonita, 3 g de polímero XG, 6 g de almidón, 0,75 g de celulosa polianiónica, 0,5 g de KOH, 0,25 g de Ca(OH)<sub>2</sub>, 4,5 g de CaCO<sub>3</sub> y 0,75 g de Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>.</p> <p>Cuando el lodo está listo, se evalúa con cuatro concentraciones diferentes de las nanopartículas de sílice (0,1, 0,5, 1 y 1,5 % en peso), las propiedades específicas para evaluar el rendimiento en la reología son el límite elástico, la viscosidad plástica aparente y la viscosidad, que se miden a altas temperaturas y presiones. Y una medida más es la fuerza de gel después de 10 segundos y después de 10 minutos.</p> <p>Teniendo en cuenta esto, la nanopartícula mostró un aumento de la viscosidad a diferentes temperaturas en comparación con el fluido base. Por ejemplo, en propiedades como el punto de fluencia, la mejora es de alrededor del 22% y en la viscosidad plástica es de alrededor del 44%. Incluso la resistencia al gel mejora un poco. [18]</p>
---------------------------------	--

**Tabla 1. Continuación.**

<p>Nanoplaquetas de grafeno</p>	<p>La metodología para evaluar las nanoplaquetas de grafeno se basa en estudios de laboratorio y en la práctica recomendada API 13B-1, esta última para determinar las propiedades del WBMD. Para determinar las propiedades del lodo, es necesario formularlo primero, con las siguientes características: 195 ml de agua, 11,3 ppb de KCl, 0,4 ppb de NaOH, 0,6 de Flowzan, 3,7 ppb de PAC y 200 ppb de Barita. Esta es la composición del lodo básico; significa que para compararlo con el lodo Nano Platelet sólo es necesario añadir 0,1 ppb de Nano Platelet.</p> <p>Como es habitual, las propiedades que se miden son la viscosidad plástica, la viscosidad, el límite elástico y la fuerza de gel (a los 10 segundos y a los 10 minutos), todo ello con la ayuda de un reómetro. Además, la caracterización de los lodos podría incluir el coeficiente de filtración, la filtración API y la filtración a alta presión y alta temperatura. Tras los ensayos mencionados, los aumentos porcentuales de las propiedades son: En la viscosidad plástica es del 4,54%, en el límite elástico es del 7,96%, en la resistencia al gel a los 10 segundos es del 0%, en la resistencia al gel a los 10 minutos es del 0%, en el coeficiente de fricción es del 50%, en la cantidad de filtración API es del 9,09%, en la cantidad de filtración HPHT es del 14,28%. Como muestran los valores anteriores, no hay una mejora significativa en las propiedades reológicas, sin embargo, se produce una mejora mínima y teniendo en cuenta, que esos ensayos de laboratorio sólo se evalúan por una concentración del nanomaterial, debido a que la concentración podría ser un punto importante de estudio en este caso.[19]</p>
---------------------------------	--

**Tabla 1. Continuación.**

<p>Nanopartícula de grafeno</p>	<p>El método para evaluar el rendimiento de una nanopartícula en la mejora de las propiedades reológicas es el mismo. Pero en este tipo de nanopartícula, se utiliza un proceso variante, para evaluar esta nanopartícula de grafeno se utiliza un lodo de perforación a base de aceite, que en teoría es mucho más eficiente que a base de agua. El compuesto de este lodo de perforación es de 204 cm<sup>3</sup> de gasóleo, 13,5 cm<sup>3</sup> del primer emulsionante, 13,4 g de cal, 11 g de control de pérdida de fluido, 80 cm<sup>3</sup> de una mezcla de agua y CaCl<sub>2</sub>, 4,5 cm<sup>3</sup> del segundo emulsionante, 2,75 g de gel de perforación y, finalmente, es necesario añadir un 1%wt de la nanopartícula de grafeno.[20]</p>
<p>Nanotubos de carbono de paredes múltiples</p>	<p>Evaluar el comportamiento del nanotubo de carbono multipared es en esencia el mismo proceso, tomar un lodo de referencia, y compararlo con el mismo lodo, pero añadiendo, en este caso, el nanotubo de carbono. Los compuestos específicos de ambos lodos son: 195 ml de agua, 11,3 ppb de KCl, 0,4 ppb de NaOH, 0,6 ppb de flowzan, 3,7 ppb de PAC, 200 ppb de barita y para formular el nanofluido es necesario añadir 0,1 ppb del nanotubo de carbono multipared. [15]A continuación, para evaluar el rendimiento reológico de las propiedades de los nanotubos, se midieron la viscosidad plástica, el límite elástico, la resistencia al gel, la filtración API y la filtración HPHT, dando lugar a mejoras porcentuales del 4,54%, 7,69%, 0%, 6,66% y 6,25% respectivamente. Aunque las mejoras no son tan grandes como las de otras nanopartículas, en casi todas las propiedades los nanotubos de carbono las han mejorado [19]</p>

**Tabla 1. Continuación.**

Nanopartícula de óxido de cobre	El método para evaluar el rendimiento de una nanopartícula en la mejora de las propiedades reológicas es el mismo. Pero en este tipo de nanopartícula se utiliza un proceso variante, para evaluar esta nanopartícula de grafeno se utiliza una perforación de lodo con base de aceite , que en teoría es mucho más eficiente que la de agua. El compuesto de este lodo de perforación es: 204 cm <sup>3</sup> de diesel, 13,5 cm <sup>3</sup> de primer emulsionante, 13,4 g de cal, 11 g de control de pérdida de fluidos, 80 cm <sup>3</sup> de una mezcla de agua y CaCl <sub>2</sub> , 4,5 cm <sup>3</sup> de segundo emulsionante, 2,75 g de gel de perforación y finalmente es necesario añadir 1%wt de la nanopartícula de grafeno.[21]
---------------------------------	---

**NOTA:** Recopilación de nanopartículas utilizadas en los fluidos de perforación enfocados al tratamiento del comportamiento reológico.

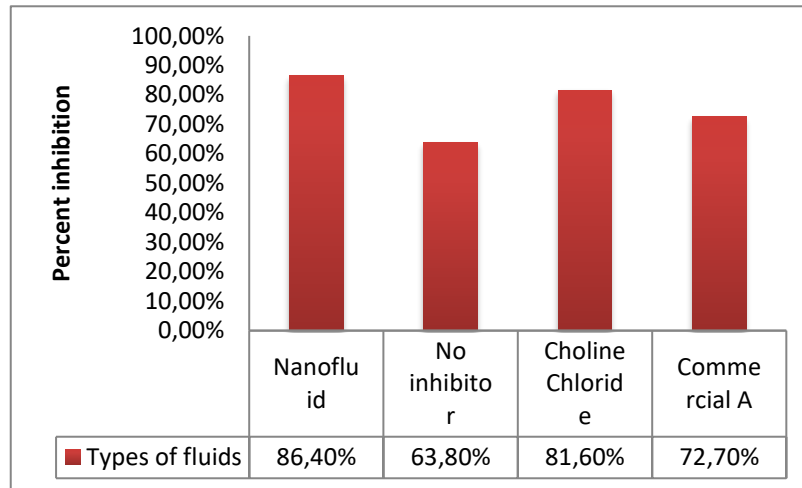
### 3.2 Aplicaciones de la nanotecnología en la inhibición de lutitas

**Tabla 2. Tratamiento de la inhibición del hinchamiento de lutitas.**

Nanopartícula de Magnesio - Sílice	Aramco ha optado por la creación de materiales a través de la funcionalización de elementos en concreto Magnesio y sílice como resultado tiene MSil-N un material estratificado orgánico unido covalentemente, definido por Patel, H., et al. como una capa de 1 nm de espesor compuesta por un MgO/OH octaédrico intercalado entre dos SiO <sub>4</sub> tetraédricos. La fracción orgánica, amina alifática, está unida mediante un fuerte enlace covalente Si-C. que tiene la capacidad de reaccionar con la pizarra gracias a su tamaño nanométrico. Se obtienen así capas inorgánicas que no permiten o
------------------------------------	---

**Tabla 2. Continuación .**

minimizan la entrada de moléculas de agua en la arcilla y por tanto su posterior hidratación. Tras el análisis y caracterización de dicho elemento, el estudio determinó una eficiencia máxima de recuperación del 86,4% en comparación con un fluido sin inhibidor (63,8%), cloruro de colina (81,6%) y un inhibidor comercial (72,2%), como puede verse en la Figura 1 siguiente. Esto apoya y valida la aplicabilidad y versatilidad de la funcionalización de elementos y las ventajas que la nanotecnología aporta a la industria. [22]



**Ilustración 1 Porcentaje de inhibición de la nanopartícula de Magnesio y Sílice.**

Fuente: Patel, Hasmukh, Santra, Ashok, and Carl Thaemlitz. "Functionalized Layered Nanomaterials: A Next-Generation Shale Inhibitor." Paper presented at the International Petroleum Technology Conference, Dhahran, Kingdom of Saudi Arabia, January 2020.

doi: <https://doi.org/10.2523/IPTC-20014-MS>

Modificado por los autores.



**Tabla 2. Continuación.**

<p>Nanoplaquetas de grafeno</p>	<p>Se definen como partículas coloidales que son el producto de las alteraciones realizadas en el grafito. A través de una comparación realizada entre cinco lodos con diferentes composiciones (1) cloruro de potasio (KCl) como lodo básico, (2) KCl / poliacrilamida hidrolítica parcial (PHPA), (3) KCl / nanoplato de grafeno (GNP), (4) KCl / nano-sílice y (5) KCl / nanotubos de carbono de pared múltiple (MWCNT, de sus siglas en inglés MutiWalledCarbonNanoTube) AFTAB, A. et al. demostraron que con una concentración de 0,1 ppb de GNP en lodo de perforación a base de agua, se alcanza una eficacia del 12% en el control del hinchamiento, lo que lo define como el inhibidor más activo en la comparación realizada teniendo en cuenta la relación cantidad-eficacia. [19]</p>
<p>Nanotubos de carbono</p>	<p>Se definen como alótropos del carbono y se dividen entre nanotubos de pared simple (SWCNT, de sus siglas en ingles, Single WalledNanoTube) y nanotubos de pared múltiple (MWCNT). Gracias a su estructura única, los lodos que contienen este tipo de nanopartículas (MWCNT) obtuvieron resultados convincentes al comparar su eficacia con otros cinco (5) tipos diferentes de nanofluidos compuestos por KCL y GNP entre otros elementos, a través de un ensayo de hinchamiento lineal realizado sobre la muestra de esquisto. En este caso concreto, el fluido que contenía 0,1ppb de MWCNTs logró una reducción del 32% del volumen de hidratación.[19]Pero los SWCNTs también sorprenden por su eficacia en los procesos de inhibición del hinchamiento. Rana, A. et al(2020), demostraron que con una concentración del 5% de SWCNT en un lodo a base de agua se produce una reducción del 65% en comparación con un lodo sin ningún</p>

**Tabla 2. Continuación.**

	<p>inhibidor y una reducción del 42% en comparación con un lodo que contiene un inhibidor comercial.</p>
<p>Nanopartículas de óxido de sílice (SiO<sub>2</sub>)</p>	<p>Los investigadores Aramendiz, J. et al.(2019) de la Universidad de Ciencia y Tecnología de Missouri crearon un lodo a base de agua con nanopartículas de sílice (SiO<sub>2</sub>-NP) y nanoplaquetas de grafeno (GNP) como aditivos con el fin de demostrar el efecto que podría experimentar la pizarra tras recrear las pruebas de hinchamiento y su comportamiento a largo plazo. Para ello, tomaron como referencia la hidratación de la pizarra Woodford, que fue del 2,89% tras ser expuesta al agua destilada. Cuando se realizó la prueba aplicando el lodo de perforación con nanopartículas creado previamente, se experimentó una reducción del 1,47% en el hinchamiento.</p>
<p>Nanofluido Laponita</p>	<p>Para contrarrestar la hinchazón que se produce en la pizarra debido a la aplicación de lodos con base de agua, se han creado varios nanofluidos. En esta investigación, se está probando la laponita a nanoescala como inhibidor y estabilizador. Durante este estudio, se evaluaron aspectos como la inhibición de la suspensión mediante pruebas de inmersión, la medición del hinchamiento lineal y, finalmente, una prueba de recuperación de la pizarra. Además, se midió el tiempo de succión capilar para verificar el mecanismo de inhibición de la pizarra, y se realizó un estudio de tixotropía y rendimiento de taponamiento. Como conclusión de esta investigación, se da por sentado el efecto positivo de la implementación de Laponita con una concentración del 1% como inhibidor de lutitas logrando una reducción del 21.8% en comparación con los lodos sin inhibidor, esto debido a que las nanopartículas utilizadas tienen una gran capacidad para reducir la permeabilidad de la lutita y así obtener superficies menos porosas,</p>

**Tabla 2. Continuación.**

	lo que a su vez reduce la invasión de agua en la formación, gracias a su tixotropía debido a que pueden formar una nanopelícula que cumple esta función.[24]
--	--

**NOTA:** Recopilación de nanoparticulas utilizadas en la creación de fluidos de perforación orientados al tratamiento de la inhibición del hinchamiento de arcillas.

### **3.3 Aplicaciones de la nanotecnología para evitar el rendimiento de la filtración y mejorar el espesor del mudcake**

**Tabla 3. Tratamiento para evitar la filtración y mejorar el espesor del mudcake**

Nanopartícula de sílice	Los investigadores Vargas, J., et al.(2019) a través de su trabajo de investigación conocieron el impacto que genera el proceso de laminación en la estabilidad térmica de las propiedades de filtración por el uso de nanopartículas de sílice (Sio2) en lodos base agua sin bentonita. La síntesis de las nanopartículas se realizó por el método Sol-gel y sílice pirogénica, las cuales fueron caracterizadas por dispersión dinámica de luz (DLS), espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) y potencial zeta (ZP). Finalmente, se demuestra que la nanopartícula proporciona un nivel de absorción mucho mayor que otros materiales, disminuyendo el volumen total de filtración en un 49%. Además, se realizaron estudios experimentales en los que el uso de estas nanopartículas no afectó a las propiedades básicas de pH, densidad y control de sólidos.[25]Es importante mencionar que la naturaleza de la sílice es tal que puede ser funcionalizada con varios elementos y, por lo tanto, los nanofluidos creados a base de estas nanopartículas funcionalizadas pueden satisfacer necesidades específicas en el momento de la perforación. Un ejemplo de ello son las nanopartículas de sílice sintetizadas y
-------------------------	---

**Tabla 3. Continuación.**

	<p>modificadas con ácido (Si11A) que fueron evaluadas mediante pruebas de permeabilidad de retorno en condiciones de yacimiento, presiones de sobrecarga, poros y sobrebalance. Los resultados obtenidos por Vargas, J. et al (2020) mostraron que con una concentración del 1% de las nanopartículas se produjo una reducción del 77% en el volumen de filtración, lo que generó según su estudio una disminución del 51% en el daño futuro a la formación si se compara con un fluido creado sin nanopartículas.[26]</p> <p>Por último, también es importante mencionar el impacto positivo que el uso de esta tecnología tiene sobre el medio ambiente pues se ha confirmado el uso de nanopartículas creadas a partir de la cáscara de arroz de diferentes tamaños (12, 22 y 54 nm), esto para hacer frente a desventajas como el daño a la formación causado por el uso de lodo a base de aceite, el desgaste y los altos costos de operación para remediar tales efectos. Se llegó a la conclusión de que estos tipos de nanopartículas dispersas en un lodo a base de glicol son capaces de reducir la pérdida de fluido, los tamaños de las nanopartículas son ideales para tapar los poros de las nanopartículas a escala que aíslan el glicol de la pizarra. Esta investigación confirma el uso y la diversidad de los materiales funcionalizados con sílice que permiten, entre otras muchas funciones, resolver los problemas de filtración que se producen en todas las operaciones de perforación de pozos.[28]</p>
--	---

**Tabla 3. Contuniación.**

<p>Nanopartícula de carbonato de calcio</p>	<p>El control de la filtración en el proceso de perforación es de vital importancia porque hay que garantizar el mantenimiento de la estabilidad del pozo. Para ello, se ha creado un nanofluido basado en nanopartículas de <math>\text{CaCO}_3</math> para regular la filtración mediante el sellado. Siguiendo esta premisa, se realizan pruebas para evaluar el tamaño ideal de la nanopartícula a crear, el tiempo de contacto entre el nanofluido y la roca, y el agente dispersante óptimo. En conclusión, se determinó que las nanopartículas hidrofóbicas de <math>\text{CaCO}_3</math> de 10-40 nm y el cloruro de acetil trimetil amonio son las nanopartículas y el dispersante ideales para la creación y uso del nanofluido que con la contracción del 1% logra un efecto del 95,5% de permeabilidad en la roca. Lo que define al nanofluido como un excelente reductor de filtración temporal.[29]</p>
<p>Nanopartículas de óxido de cobre</p>	<p>Mediante la aplicación de nanocompuestos de óxido de cobre como aditivos sintetizados en un proceso de polimerización en solución. Dispersos en dos tipos diferentes de fluidos de perforación que fueron controlados de la misma manera, se demostró que al aumentar las concentraciones de los nanofluidos se experimentó una reducción de la torta de filtración y de la pérdida de fluido con resultados tales como una reducción del 69,14% con una concentración de 3,7 y del 63,27% con una concentración de 2,4 en comparación con el fluido sin nanocompuesto. Se concluye que el volumen de filtración del fluido, así como el espesor de la torta de filtración experimentaron una reducción considerable que podría explicarse por las propiedades del <math>\text{CuO}</math> y el tamaño de las nanopartículas.[30]</p>

**Tabla 3. Continuación.**

Nanopartículas de alúmina	Para esta investigación es importante considerar que las nanopartículas de alúmina presentan un carácter hidrofóbico, por lo que la funcionalización con carboximetilcelulosa (CMC) a través del método de impregnación no obtuvo los resultados inicialmente esperados. Incluso con esta limitación, se verifica una reducción del 33,33% en la pérdida de filtración con una concentración del 10% de alúmina, un efecto mayor que los resultados obtenidos con partículas compuestas de sílice y una reducción media del 46,34% en el espesor de la retorta, pero todavía considerable para futuras investigaciones.[31]
---------------------------	---

**NOTA.** Recopilación de nanopartículas utilizadas en fluidos de perforación orientados a tratar los problemas de filtración y mudcake.

### 3.4 Aplicaciones de la nanotecnología en la estabilidad térmica

**Tabla 4. Tratamiento de la estabilidad térmica.**

Nanopartícula de sílice	Para determinar cómo una nanopartícula de sílice da estabilidad térmica a un WBMD es importante conocer el proceso experimental. Utilizando una celda de laminación en caliente, se expone el WBMD a diferentes temperaturas altas en condiciones dinámicas (Con rotación), esto es para simular las condiciones de perforación, después de 16 horas bajo esas condiciones es necesario enfriarlo a temperatura ambiente para luego mezclar el fluido durante 15 minutos. Y la idea principal es determinar las propiedades del fluido antes y después del proceso mencionado, una buena nanopartícula haría que las propiedades fueran las mismas después del calentamiento. En este caso, la nanopartícula de sílice podría mantener las propiedades estables incluso con aumentos de temperatura de 173° F, por ejemplo, el
-------------------------	--

**Tabla 4. Continuación.**

	<p>cambio de infiltración con 173°F de calentamiento, en el lodo sin nanopartícula es de 53,4 cm<sup>3</sup>, pero en las mismas condiciones, el lodo con nanopartículas da un cambio de filtración de sólo 6,2 cm<sup>3</sup>. Un comportamiento similar se muestra en el espesor de la torta de lodo con el mismo calentamiento el lodo sin nanopartículas tiene un cambio de filtración de hasta el 116% pero con la nanopartícula, es del 9,71%. La nanopartícula de sílice proporciona al WBMD una buena estabilidad térmica, debido a que las nanopartículas le ayudan a mantener las propiedades originales después del calentamiento.[23]</p>
Nanopartículas de óxido de cobre	<p>En el caso de las nanopartículas de óxido de cobre, éstas podrían mantener las propiedades estables incluso con aumentos de alta temperatura, pero, en este caso, la sal ocupa un lugar importante, ahí es donde una buena formulación del fluido de perforación influye en el rendimiento de la conductividad térmica. Sin embargo, el estudio demostró que cuanto más concentración de nanopartículas, mejor será la conductividad térmica, lo cual es una propiedad esencial en los fluidos para el cuidado de los equipos de fondo de pozo.[21]</p>

**NOTA:** Recopilación de nanopartículas utilizadas en fluidos de perforación orientados a tratar la estabilidad térmica.

#### 4. CONCLUSIONES

Como resultado del análisis realizado, se evidenció el impacto positivo que genera el uso de nanofluidos, a través del efecto en su comportamiento reológico, sus aplicaciones en la inhibición de la lutita bituminosa, su influencia en el control del espesor de filtración y retorta y la estabilidad térmica que proporcionan. Ofreciendo una perspectiva favorable para la explotación de este tipo de tecnología, que no sólo contribuye al crecimiento científico, sino que, al cumplir las funciones descritas anteriormente, puede reducir significativamente los costes de los procesos de perforación en sus distintas etapas.

Con respecto a la inhibición del hinchamiento de las arcillas, es oportuno concluir que existe una gran variedad de elementos con los que se podrían desarrollar nano partículas que ayuden a la inhibición, al mezclarlas con el fluido de perforación, esto facilita la creación de inhibidores lo que representa un importante ahorro de costos tanto en la prevención como en la reparación de posibles daños a la formación.

La correcta utilización de los diferentes nanofluidos ha tenido resultados satisfactorios en los que se ha producido una reducción del volumen de filtrado de hasta el 77%, una reducción de hasta el 46% del espesor de la retorta. Esto representa una reducción de aproximadamente un 51% en el riesgo de daño de formación.

La estabilidad térmica es una de las propiedades menos estudiadas de los lodos. Pero con el desarrollo de nuevas nanopartículas centradas en este aspecto, se han observado mejoras significativas, incluso en torno al 15%. Este porcentaje podría suponer un menor coste en el tratamiento de los fluidos y una mayor vida útil de los equipos utilizados.

Las propiedades reológicas son las más sensibles al uso de nanopartículas pues se reflejan cambios positivos en cada uno de los estudios hasta un 77%.



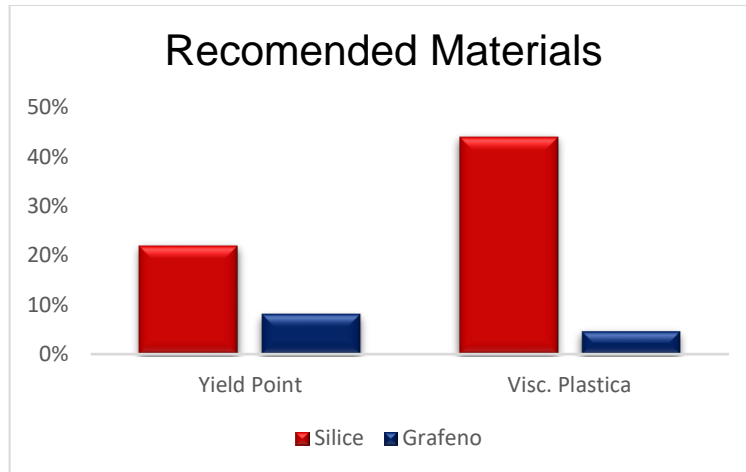


Ilustración 2. Materiales recomendados y su desempeño a la mínima concentración

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Mortatha Saadoon Al-Yasiri, Waleed Tareq Al-Sallami. How the Drilling Fluids Can be Made More Efficient by Using Nanomaterials. American Journal of Nano Research and Applications. Vol. 3, No. 3, 2015, pp. 41-45. doi: 10.11648/j.nano.20150303.12
- [2] Mengjiao Yu, Martin E. Chenevert, Mukul M. Sharma. Chemical-mechanical wellbore instability model for shales: accounting for solute diffusion. Petroleum science and engineering. 2003. doi:10.1016/S0920-4105(03)00027-5
- [3] Abdolhamid Sameni, Peyman Pourafshary, Milad Ghanbarzadeh, Shahab Ayatollahi. Effect of nanoparticles on clay swelling and migration. Egyptian journal of petroleum. 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejpe.2015.10.006>
- [4] Ashok Santra, Peter J. Boul, Xueyu Pang. Influence of nanomaterials in oil well cement hydration and Mechanical properties. SPE 156937. 2012. doi:10.2118/156937-MS
- [5] Magda I. Youssif, Rehab M. El-Maghraby, Sayed M. Saleh, Ahmed Elgibaly. Silica nanofluid flooding for enhanced oil recovery in sandstone rocks. Egyptian Journal of Petroleum
- [6] M.F. Fakoya, S.N. Shah, Enhancement of filtration properties in surfactant-based and polymeric fluids by nanoparticles, SPE Eastern Regional Meeting, 2014. doi:10.2118/171029-MS
- [7] THE NATIONAL NANOTECHNOLOGY INITIATIVE. Qué es y cómo funciona. {En línea} <https://www.nano.gov/nanotech-101/what> { Acceso: abril 2020}.

- [8] Universidad Nacional de Colombia. "NANOTECNOLOGIA. Aplicada al recobro y productividad de yacimientos de hidrocarburos. Formato presentado en PDF. 2020.
- [9] Schlumberger OilfieldGlossary. "Fluido de perforacion". {Enlinea}.  
[https://www.glossary.oilfield.slb.com/es/terms/d/drilling\\_fluid](https://www.glossary.oilfield.slb.com/es/terms/d/drilling_fluid). { Acceso Noviembre 2020}
- [10]F. Guarachy. "Guía de fluidos de perforación y laboratorio"{ En línea}.  
<https://es.slideshare.net/Rolando000/guia-de-fluidos-de-perforacin>{ Acceso: Noviembre 2020}
- [11] Peter J. Boul,Pulickel M. Ajayan. NanotechnologyResearch and Development in UpstreamOil and Gas.Willey-VCH VerlagGmbH& Co. 2020.  
 10.1002/ente.201901216
- [12]YuxiuAn, PeiziYu. A strong inhibitionofpolyethyleneimine as sale inhibitor in drilling fluid. Journalofpetroleumscience and engineering.  
 2017.<https://doi.org/10.1016/j.petrol.2017.11.029>
- [13] A Aftab, A. R. Ismail, Z. H. Ibutoto. Enhancingtherheologicalproperties and sale inhibition behavior ofwater-basedmudusingnanosilica, multi-walledcarbonnanotube, and grapheme nanoplatelet. Egyptianjournalofpetroleum. 2016.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ejpe.2016.05.004>
- [14] RaoofGholamia, Henry Elochukwua,NikooFakharib, Mohammad Sarmadivalehc.Areviewonboreholeinstability in active shaleformations:

- Interactions, mechanisms and inhibitors. *Earth – Science Reviews*. 2018.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.11.002>
- [15] Zhihua Luo, Longxiang Wang, Peizhi Yu, Zhangxin Chen. Experimental study on the application of an ionic liquid as a shale inhibitor and its inhibitive mechanism. *Applied Clay Science*. 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.clay.2017.09.038>
- [16] Eric Van Oort. On the physical and chemical stability of shales. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 2003. doi:10.1016/S0920-4105(03)00034-2
- [17] Qianguo Zhang, Xiangyu Fan, Wenyu Jia, Yongchang Liang, Fenglin Xu, Meiheng Duan, Yang Yang. A review of the shale wellbore stability mechanism based on mechanical–chemical coupling theories. *Petroleum*. 2015.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.petlm.2015.06.005>
- [18] Cheraghian G, Wu Q, Mostofi M, Li M-Chun, Afrand M, Sangwai J, Effect of a Novel Clay/silica Nanocomposite on Water Based Drilling Fluids: Improvements in Rheological and Filtration Properties, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2018, <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2018.06.072>
- [19] A. Aftab, A. R. Ismail, Z. H. Ibupoto, Enhancing the rheological properties and shale inhibition behavior of water-based mud using nano-silica, multi-walled carbon nanotube, and graphene nanoplatelet, 2016,  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ejpe.2016.05.004>

- [20] Vahid Nooripour and Abdolnabi Hashemi, Effect of a modified nano clay and nanographene on rheology, stability of water-in-oil emulsion, and filtration control ability of oil-based drilling fluids: a comparative experimental approach, 2020, <https://doi.org/10.2516/ogst/2020032>
- [21] RahmatallahSaboori, Samad Sabbaghi, Azim Kalantariasl,Improvement of rheological, filtration and thermal conductivity of bentonite drilling fluid using copper oxide/polyacrylamide nanocomposite, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.05.038>
- [22] Patel, Hasmukh, Santra, Ashok, and Carl Thaemlitz. "Functionalized Layered Nanomaterials: A Next-Generation Shale Inhibitor." Paper presented at the International Petroleum Technology Conference, Dhahran, Kingdom of Saudi Arabia, January 2020. doi: <https://doi.org/10.2523/IPTC-20014-MS>.
- [23] Aramendiz, J. , Imqam, A. 2019. Water-based drilling fluid formulation using silica and graphene nanoparticles for unconventional shale applications. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2019.04.085>
- [24] Huang, X., Shen, H., Sun, J., Lv, K., Liu, J., Dong, X., Luo, S., 2018. Nanoscale Laponite as a Potential Shale Inhibitor in Water-Based Drilling Fluid for Stabilization of Wellbore Stability and Mechanism Study. *ACS Appl. Mater. Interfaces* 10: 33252–33259. <https://doi.org/10.1021/acsami.8b11419>.
- [25] Roldán, L., Lopera, S., Cardenas, J., Zabala, R., Franco, C., Cortés, F. 2019. Effect of Silica Nanoparticles on Thermal Stability in Bentonite Free Water-Based

Drilling Fluids to Improve its Rheological and Filtration Properties After Aging Process. OffshoreTechnologyConference.<https://doi.org/10.4043/29901-MS>

- [26] Vargas, J., Roldán, L., Valencia, L., Lopera, S., Zabala, R., Cardenas, J., Duran, w., Franco, C., Cortés, F. 2020 Influence of size and surface acidity of silica nanoparticles on inhibition of the formation damage by bentonite-free water-based drilling fluids. Part II: dynamic filtration. Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology, Volume 11, Issue 1, id.015011. DOI: 10.1088/2043-6254/ab6cfd
- [27] Verşan, M., BerkBal, K., 2019. Effects of silica nanoparticles on the performance of water-based drilling fluids. Journal of Petroleum Science and Engineering Volume 180, Pages 605-614. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2019.05.069>
- [28] Moraveji, M., Ghaffarkhah, A., Agin, F., Talebkeikhah, M., Jahanshahi, A., Kalantar, A., Amirhosseini, S., Karimifard, M., Mortazavipour, S., Semandhat, A., Arjhat, M. 2020. Application of amorphous silica nanoparticles in improving the rheological properties, filtration, and shale stability of glycol-based drilling fluids. International Communications in Heat and Mass Transfer Volume 115, 104625. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2020.104625>
- [29] Zhang, H., Zhong, Y., She, J. *et al.* Experimental study of nano-drilling fluid based on nano temporary plugging technology and its application mechanism in shale drilling. *Appl Nanosci* 9, 1637–1648 (2019). <https://doi.org/10.1007/s13204-019-01046-w>

- [30] Betancur-Márquez, Stefanía, & Alzate-Espinosa, Guillermo a., & Cortés-Correa, Farid b. (2014). Mejoramiento de los fluidos de perforación usando nanopartículas funcionalizadas: reducción de las pérdidas de filtrado y del espesor de la retorta. *boletín de ciencias de la tierra*, (35), 5-13. [fecha de consulta 13 de noviembre de 2020]. issn: 0120-3630. disponible en:  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=1695/169531421001>
- [31] Azeem Rana, Ibrahim Khan, Shahid Ali, Tawfik A. Saleh y Safyan A. Khan. *Energy Fuels*. 2020 , 34 , 8 , 9515–9523. 28 de julio de 2020  
<https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.0c01718>
- [32] Aramendiz, Jose y Abdulmohsin Imqam. "Formulación de nanopartículas de óxido de grafeno y sílice para mejorar la estabilidad térmica y las capacidades de inhibición del fluido de perforación a base de agua aplicado a Woodford Shale". Documento presentado en la Conferencia internacional de SPE sobre química de yacimientos petrolíferos, Galveston, Texas, EE. UU., Abril de 2019.  
doi: <https://doi.org/10.2118/193567-MS>

## **ANEXO 1**



## **Nanotechnology Applied in Water-Based Drilling Muds to Avoid Formation Damage**

Katerin Rojas<sup>1</sup>, Miguel Mendoza<sup>1</sup>, Adriana Henao<sup>1</sup>, Daniel López<sup>2</sup>, Camilo A. Franco<sup>2\*</sup>, Farid B. Cortés<sup>2\*</sup>.

<sup>1</sup>Fundación Universidad de Colombia Sede Medellín.

<sup>2</sup>Grupo de Investigación en Fenómenos de Superficie – Michael Polanyi, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

\*Corresponding authors: fbcortes@unal.edu.co; cafrancoar@unal.edu.co

### **Abstract**

The proper implementation of challenging tasks during the drilling process is vital to prevent several downfalls, and in order to do so, there are many considerations to take into account, such as the unique characteristics of each formation. Drilling fluids are part of these tasks as they are responsible for providing stability, safety, lubrication, transmitting hydraulic power, minimizing the impact on the environment and the specific formation face. Their functions are so important that the manufacture of these fluids or commonly called drilling muds must be meticulous and thought out, as mentioned above, specified for the formation in which they are working. The advances in this task have been pleasantly important because with the technology of the moment has been achieved the implementation of nanotechnology to develop advanced drilling fluids.

The objective of this research is to recognize the importance of the use of various nanoparticles in drilling muds through examples of nanofluids that have worked successfully during the drilling process and that focus on five specific areas: inhibition of shale swelling, rheological behavior, filtration and retort thickness control, and thermal

stability. As a result, incredible performance is obtained from the fluids created and used in the tests, avoiding shale inhibition up to 30% more than conventional muds, reducing the filtration volume, altering the viscosity, the friction coefficient so adequately that a reduction in the risk of damage formation of up to 51% was evidenced.

**Keywords:** Oil, nanoparticles, Clay Swelling, Formation Damage.

## **Introduction**

The drilling process is responsible for the correct connection between the surface and the reservoir all this happens through the hole that causes the drill and that ends in the part of interest of the formation. To perform this operation are used among others the drilling fluids which according to the glossary oilfield of schlumberger are defined as "a series of liquid and gaseous fluids and mixtures of fluids and solids (in the form of suspensions of solids, mixtures and emulsions of liquids, gases and solids)" and perform an endless number of functions including lubrication, well safety, provide stability, control corrosion, control pressure. As it is evident the perforation fluids are indispensable and therefore these carry great risks, so any mistake could generate a great impact as the damage to the formation which could be emulsions, changes in the relative permeability, changes in wettability, which would exponentially increase the difficulty of extracting fluids from the deposit due to changes in its original characteristics. . It could also trigger a series of losses in profitability and increased operating costs to solve the problems that arise. Circulation systems is a very important component in every single operation of drilling, here there is an important part of the system, which is the drilling fluid, that is simply a mixture of different fluids and additives that removes the cutting residues from the well, stabilizing and support the wellbore and

lubricating and cooling the drilling tools [1]. During drilling operation the role that the drilling fluid takes in the system is to get exposed to the formations rocks and equipment, that contact specifically with the formation rocks reduce the rock productivity, usually called, formation damage, that damage is the propriety after damage divided by the original undamaged propriety [<https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2012.07.002>]. The main cause of formation damage is the used drilling fluid, it could have some disadvantages in the formation rock, this is why an appropriate selection of the drilling fluid is critical to minimize drilling problems and to obtain the highest levels of production in the formation rock. [<https://doi.org/10.2118/31082-PA>] The damage caused by the fluid penetration in the formation, depends on how long it could penetrate, taking into account it could be few inches to several feet. [<https://doi.org/10.1016/j.petrol.2012.11.003>] And there is four mechanisms where the formation damage could appear:

1. Caused by drilling fluid and formation rocks incompatibility.
2. Caused by drilling fluid and formation fluids incompatibility.
3. Caused by damage in the mud cake.
4. Caused by invasion of pores with fine solids in the fluid

To avoid the formation damage and with many years of study, it has shown that the use of nanoparticles in the water-based muds drilling (WBMD) could improve their rheological performance, even when the concentrations of the nanoparticles are under 1wt% [2]. That improvement in the rheological performance could prevent the loss of circulation, wellbore instability, pipe sticking, and improve recovery efficiency and it is

basically because of the capability of nanoparticles to disperse themselves in a continuous phase, applying their properties all along the fluid.

To inhibit clay swelling is a very important point of the study because around 70% of wellbore instability problems are a consequence of the presence of clay [3]. Those problems start in the presence of minerals like smectite, kaolinite and montmorillonite in clays, which have a great affinity with the water present in the drilling fluid [4], when they get in contact each other, minerals react increasing their volume. This increasing is generated because of the amount in the distance from layer to layer that compounds the clay and this distance increase in the presence of water. Water helps the cationic exchange, which are in the interlayered space. [<https://doi.org/10.1021/cm047995v>] It occurs in a formation with high levels of clays, which contains minerals like smectite and kaolinite that generate the mentioned cation exchange when they stay in contact with the water-based mud drilling. Those chemical reactions cause clay's molecules to increase their volume, through the addition of water molecules to their atomic structure and thus create the swelling of the clays on deformation. [<http://dx.doi.org/10.1016/j.earscirev.2009.11.003>] It would entail the well structure collapse, differential stuck, reduction of the rate of penetration, circulation losses, and increase of non-productive times. To reduce the cationic exchange between the water-based mud drilling and the clays are used salts as additives of the drilling fluid. However, when the salts are implemented like clay inhibition methods, they generate two big troubles. [<https://doi.org/10.1016/j.clay.2016.12.039>] To make a suitable inhibition of clays with salts, it is necessary high concentrations of salts, it makes that the operation cost increase, furthermore, when this salty mud get in contact with the drilling residues,

makes that those drilling residues need an especial treatment. Apart from salts, it is used polymers to inhibit clays, however, it would generate skin damage like permeability reduction and eventual degradation of themselves that will carry clay swelling. That chemical reaction causes the clay swelling. But that is not the only way of interaction between clay and water, it could be also a physical or mechanical reaction. The mentioned physical or mechanical reaction relate pore pressure and osmotic pressure, this last one is generated by the differences in the chemical potential there is a pressure transmission from the drilling fluid, in form of hydraulic pressure, to the clay's formation that causes the instability [5]. It means there is reverse osmosis in the water transportation to the clay. Nevertheless, that reverse osmosis is not only interacting with the pore pressure, it is even interreacting with fractures, that can easily generate by the hydraulic pressure in the overbalance drilling process when clay formation is dry, brittle [6].

To avoid the problems about the interaction between clay and water, it is use additives in the drilling fluid, that depending inhibit that interaction. But what is an inhibitor, is a material or a chemical that reduces the hydration, the swelling, and the degradation of clays [7]. Those additives could be dissolved or suspended, which will increase the fluid weight, which means that it is a factor to consider when planning the composition of the WBMD. To inhibit clays, the most common additives are organic salts of potassium, calcium, and ammonium (KCl, CaCl<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub>Cl) [8] even when those kinds of salts do not tolerate downhole conditions, it means they use to degrade by high temperatures and pressures.

For this reason, the industry has the necessity of developing new technology to increase rheological properties of drilling fluids without harm the formation by plugging the pore holes with the additives. This is where nanotechnology comes in, as an effective tool that can reduce fluid loss, which prevents the balance between hydraulic pressure and pore pressure that could generate an imminent collapse [9]. The capacity of nanoparticles, thanks to their small size, makes them have an effective dispersion in drilling fluids, which generates that their performance in inhibiting clays is better than that of salts or other additives. But this is not the only property that nanoparticles applied to drilling fluids have; they could also improve thermal stability, lubricity, and filtration [10]. It has even been demonstrated the influence that nano-fluids have on the performance of cementing operations by providing complete insulation, to prevent eventual fluid migration, structural support, and protection of the coating from corrosion. This leads to reductions in setting times, long life, and improvements in microstructural cement.[11] Also, the use of nanoparticles in improved oil recovery is highlighted, where thanks to their positive effect, mechanisms such as pressure separation, log blockage, and wettability alteration have been proposed. [12].

Finally, this work intends to show the impact generated by the application of nanoparticles in water-based drilling muds, through the effect on the rheological behavior of nanofluids, their applications in the inhibition of clay swelling, their influence on the control of the thickness of filtration and retort and the thermal stability they provide. Showing the nanoparticles with the better performance compared with traditional ways to avoid formation damage. Offering a favorable perspective for the exploitation of this type of nanotechnology, which not only contributes to scientific

growth but, by fulfilling the functions described above, can significantly reduce the costs of drilling processes in their various applications [13].

## **1. Applications of nanotechnology in rheological behavior**

### **1.1 Silica nanoparticles**

The method to evaluate the improvement of the rheological performance that has a silica nanoparticle in a WBMD is simple, it is enough with design del mud, evaluate its rheological performance with the help of a rheometer, then add the number of nanoparticles required and finally reevaluate the rheological performance. Being meticulous with the mentioned four steps for the case of study, the design of the drilling mud was based on API standard specification for water-based muds drilling, whose characteristics are: 287.7 cm<sup>3</sup> of Deionized water, 18 g of bentonite, 3 g of XG Polymer, 6 g of Starch, 0.75 g Polyanionic Cellulose, 0.5 g of KOH, 0.25 g of Ca(OH)<sub>2</sub>, 4.5 g of CaCO<sub>3</sub> and 0.75 g of Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>.

When the mud is ready, it gets evaluated with four different concentrations of the silica nanoparticles (0.1, 0.5, 1, and 1.5 wt.%), the specific proprieties to evaluate the performance in the rheology are yield point, apparent plastic viscosity, and viscosity, which are measured at high temperatures and pressures. And one more measurement is the gel strength after 10 seconds and after 10 minutes.

Taking this into account, the nanoparticle showed an increase in the viscosity at different temperatures compared with the base fluid. For example, in proprieties like yield point the enhancement is about 22% and in plastic viscosity is around 44%. Even gel strength gets a little improve. [14]

#### *1.1.1 Influence of size ad surface acidity*

To evaluate the effect of surface acidity is necessary to modify the surface acidity of a nanoparticle, to do this, it is used HCl and NaOH in water solutions until obtaining two aliquots with pH values of 3 and 10. In those solutions it is added an amount of 0.5g of nanoparticles during 24 hours, then the surface of the nanoparticles will be modified. After the same process mentioned in numeral 2.1. that had a conclusion with the highest values of surface acidity (pH), the better performance in the rheological proprieties. [14]

And to obtain different sizes in the silica nanoparticles on the sol-gel method it is necessary to do the process with varying concentrations of TEOS. And the results of the effect of size on the rheological performance of the WBMD is the smaller the nanoparticle the better enhancement.

## **1.2 Graphene nanoplatelets**

The methodology to evaluate the graphene nanoplatelets is based on laboratory studies and in the recommended practice API 13B-1, this last one to determinate the proprieties of the WBMD. To determinate the proprieties of the mud, it is necessary to formulate it first, as the following characteristics: 195 ml of water, 11.3 ppb of KCl, 0.4 ppb of NaOH, 0.6 of Flowzan, 3.7 ppb of PAC, and 200 ppb of Barite. This is the composition of the basic mud; it means to compare it with the Nano Platelet Mud is just necessary to add 0.1 ppb of Nano Platelet.

As usual, the measured proprieties are plastic viscosity, viscosity, yield point, and gel strength (at 10 seconds and 10 minutes), those with the help of a rheometer. Also, the characterization of the muds could include the coefficient of filtration, API filtration, and high-pressure high-temperature filtration. After the mentioned tests the percentage



increases in the properties are: In plastic viscosity is 4.54%, in yield point is 7.96%, in gel strength at 10 seconds is 0%, in gel strength at 10 minutes is 0%, in the coefficient of friction is 50%, in the amount of API filtration is 9.09%, in the amount of HPHT filtration is 14.28%.As previous values show, there is no significant improvement in rheological properties, however, it occurs a minimum improvement and taking into account, those laboratory tests are just evaluated by one concentration of the nanomaterial, as concentration could be an important point of study in this case. [15]

### **1.3 Graphene nanoparticle**

The method to evaluate the performance of a nanoparticle in the improvement of the rheological properties is the same. But in this kind of nanoparticle, there is used a variant process, because to evaluate this graphene nanoparticle is used an oil-based mud drilling, which in theory is much more efficient than water-based. The compound of this drilling mud is 204 cm<sup>3</sup> of diesel, 13.5 cm<sup>3</sup> of the first emulsifier, 13.4 g of lime, 11 g of fluid loss control, 80 cm<sup>3</sup> of a mix of water and CaCl<sub>2</sub>, 4.5 cm<sup>3</sup> of the second emulsifier, 2.75 g of drill gel and finally, it is necessary to add 1%wt of the graphene nanoparticle. [16]

### **1.4 Multi-walled carbon nanotube**

To evaluate the behavior of the multi-walled carbon nanotube is in essence the same process, to take one mud of reference, and compare it with the same mud but adding, in this case, the carbon nanotube. The specific the compound of both muds are: 195 ml of water, 11.3 ppb of KCl, 0.4 ppb of NaOH, 0.6 ppb of flowzan, 3.7 ppb of PAC, 200 ppb of barite and to formulate the nanofluid is necessary to add 0.1 ppb of the multi-walled carbon nanotube. [15]Then to evaluate the rheological performance of the nanotube

properties like plastic viscosity, yield point, gel strength, API filtration, and HPHT filtration were measured, giving percental improvements of 4.54%, 7.69%, 0%, 6.66%, 6.25% respectively. Even when the improvements are not as big as other nanoparticles, in almost every single propriety carbon nano-tubes have enhanced them.

### **1.5 Copper oxide nanoparticle**

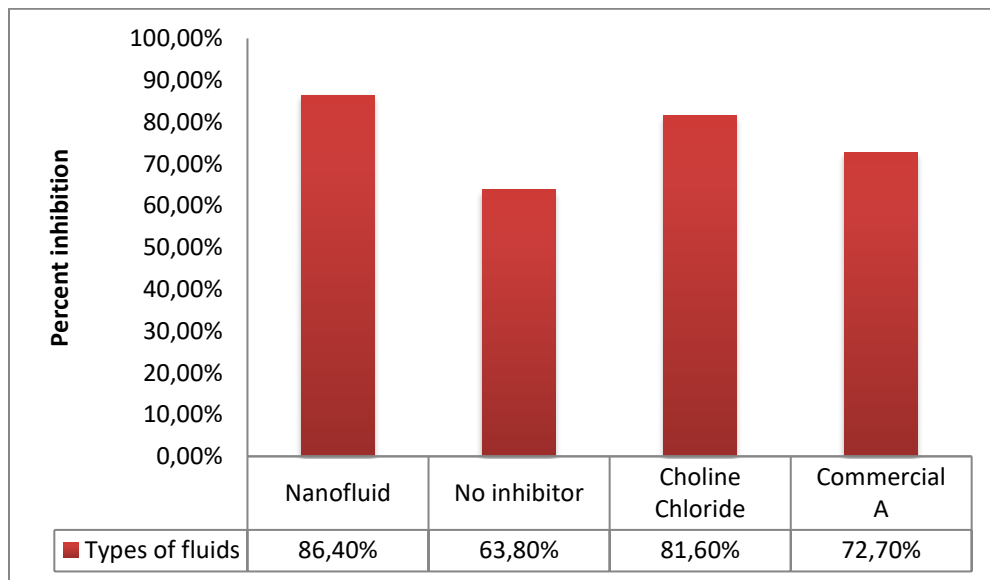
The method to evaluate the performance of a nanoparticle in the improvement of the rheological performance is to determine the viscosity, the behavior in gel strength, and how much filtration the drilling fluid produces in presence of the nanoparticle. Additionally, to evaluate copper oxide nanoparticle is used mud with and without salt but in this case, the focus of the study is the fluid loss. Without salt, the improvement is about 3.44% and with salt, this improvement is 4.08%, which means even when the nanoparticle is in the fluid a good formulation of the mud is indispensable. [17]

## **2. Nanotechnology applications in inhibiting shale swelling**

In drilling operations cross sections where the predominant composition is clay, of course this factor is conditioned to the type of basin and therefore to a type of characteristic lithology with high clay contents, which contain minerals, such as emeric and kaolinite, which generate a high cation exchange by being in contact with water-based drilling fluids. there are problems such as instability due to formation swelling and without the intention of using oil-based drilling muds due to their environmental impact and high economic price, but in order to avoid these problems, nanotechnology is used.

### **2.1 Magnesium - Silica nanoparticle**

Aramco has opted for the creation of materials through the functionalization of elements in specific Magnesium and silica as a result it has MSil-N a covalently bound organic stratified material, defined by Patel, H. ,et al. As a 1 nm thick layer composed of an octahedral MgO/OH is interspersed between two tetrahedral SiO<sub>4</sub>. The organic fraction, aliphatic amine, is linked through a strong covalent Si-C bond. which has the ability to react with shale thanks to its nanometric size. Inorganic layers are thus obtained that do not allow or minimize the entry of water molecules into the clay and thus its subsequent hydration. After the analysis and caraterization of said element, the study determined a maximum recovery efficiency of 86.4% compared to a fluid without inhibitor (63.8%), choline chloride (81.6%) and a commercial hybridist (72.2%), as can be seen in Figure 1 below. This supports and validates the applicability and versatility of element functionalization and the advantages that nanotechnology brings to the industry[18]



**Figure 1. Percentage of inhibition of the Magnesium and silica nanoparticle**

Fuente:Patel, Hasmukh, Santra, Ashok, and Carl Thaemlitz. "Functionalized Layered Nanomaterials: A Next-Generation Shale Inhibitor." Paper presented at the International Petroleum Technology Conference, Dhahran, Kingdom of Saudi Arabia, January 2020.

doi: <https://doi.org/10.2523/IPTC-20014-MS>

Modificado por los autores.

## **2.2 Graphene nanoplatelets**

Defined as colloidal particles that are the product of alterations made to the graphite. Through a comparison performed between five muds with different compositions (1) potassium chloride (KCl) as a basic mud, (2) KCl / partial hydrolytic polyacrylamide (PHPA), (3) KCl / graphene nanoplate (GNP), (4) KCl / nano-silica and (5) KCl / multi-walled carbon nanotube (MWCNT) AFTAB, A. et al. demonstrated that with a concentration of 0.1 ppb of GNP in water-based drilling mud, an effectiveness of 12% in swelling control is achieved, which defines it as the most active inhibitor in the comparison performed taking into account the quantity-effectiveness ratio.[15]

## **2.3 Carbon nanotube**

They are defined as carbon allotropes and are divided between single-walled nanotubes (SWCNTs) and multi-walled nanotubes (MWCNTs). Thanks to their unique structure, the slurries containing this type of nanoparticles (MWCNT) obtained convincing results by comparing their effectiveness with five (5) other different types of nanofluids composed of KCL and GNP among other elements, through a linear swelling test performed on the shale sample. In this particular case, the slurry containing 0.1ppb of MWCNTs achieved a 32% reduction in hydration volume. [15]

But SWCNTs are also surprising for their efficiency in swelling inhibition processes. Rana, A. et al(2020), demonstrated that with a 5% concentration of SWCNT in a water-based sludge there is a 65% reduction when compared to a sludge without any inhibitor and a 42% reduction when compared to a sludge containing a commercial inhibitor.[28]

#### **2.4 Silica Oxide (SiO<sub>2</sub>) Nanoparticle**

Researchers Aramendiz, J. et al.(2019) from the Missouri University of Science and Technology created a water-based mud with silica nanoparticles (SiO<sub>2</sub>-NP) and graphene nanoplatelets (GNP) as additives in order to demonstrate the effect that could be experienced in shale after recreating swelling tests and its long-term behavior. As a result, they took as a reference the hydration of Woodford shale which was 2.89% after being exposed to distilled water. When the test was carried out by applying the drilling mud with nanoparticles created previously, a 1.47% reduction in swelling was experienced. [29]

#### **2.5 Laponite Nanofluid**

To counteract the swelling that occurs in shale due to the application of water-based muds, several nanofluids have been created. In this research, nanoscale laponite is being tested as an inhibitor and stabilizer. During this study, aspects such as suspension inhibition by immersion testing, linear swelling measurement and finally a shale recovery test were evaluated. Also, capillary suction time was measured to verify the shale inhibition mechanism, and a thixotropy and plugging performance study was performed. As a conclusion of this research, it is taken for granted the positive effect of the implementation of Laponite with a concentration of 1% as a shale inhibitor achieving a reduction of 21.8% compared to muds without inhibitor, this because the

nanoparticles used have a great capacity to reduce the permeability of the shale and thus obtain less porous surfaces, which in turn reduces the invasion of water in the formation, thanks to its thixotropy since they can form a nanopellet that fulfills this function. [20]

### **3. Applications of nanotechnology in avoid of filtration performance and improve mud cake thickness**

The high filtrate volume of the fluid generates losses, expenses and swelling and a retort, in case it is permeable and thick, can cause instability in the walls of the well.

#### **3.1 Silica nanoparticle**

The researchers Vargas, J., et al.(2019) through their research work learned about the impact that the lamination process generates in the thermal stability of the filtration properties by the use of silica nanoparticles ( $\text{SiO}_2$ ) in water-based sludge without bentonite. The synthesis of the nanoparticles was carried out by Sol-gel method and pyrogenic silica, which were characterized by dynamic light scattering (DLS), Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), and zeta potential (ZP). Finally, it is demonstrated that the nanoparticle provides a much higher level of absorption than other materials, decreasing the total filtration volume by 49%. In addition, experimental studies were conducted where the use of these nanoparticles did not affect the basic properties of pH, density, and solids control. [21]

It is important to mention that the nature of silica is such that it can be functionalized with various elements and, therefore, nanofluids created based on these functionalized nanoparticles can meet specific needs at the time of drilling. An example of this is the acid-treated synthesized and modified silica nanoparticles (Si11A) that were evaluated

by return permeability tests under reservoir conditions, overburden pressures, pore and overbalance. The results obtained by Vargas, J. et al (2020) showed that with a 1% concentration of the nanoparticles there was a 77% reduction in the filtration volume, which generated according to their study a 51% decrease in future formation damage if compared to a fluid created without nanoparticles. [22]

Finally, it is also important to mention the positive impact that the use of this technology has on the environment since the use of nanoparticles created from rice husk of different sizes (12, 22, and 54 nm) has been confirmed, this to face disadvantages such as formation damage caused by the use of oil-based mud, wear and tear, and high operating costs to remedy such effects. It was concluded that these types of nanoparticles dispersed in a glycol-based mud are able to reduce fluid loss, the sizes of the nanoparticles are ideal for plugging the pores of the nanoscale nanoparticles that isolate the glycol from the shale. This research confirms the use and diversity of silica functionalized materials that allow, among many other functions, to solve the filtration problems that occur in all well drilling operations. [24]

### **3.2 CaCO<sub>3</sub>nanoparticle**

The control of the filtration in the drilling process is of vital importance because it must be ensured that the stability of the well is maintained. For this purpose, a nanofluid based on CaCo3 nanoparticles was created to regulate filtration using sealing. In compliance with this premise, tests are carried out to evaluate the ideal size of the nanoparticle to be created, the contact time between the nanofluid and the rock, and the optimal dispersing agent. In conclusion, it was determined that the hydrophobic CaCO<sub>3</sub> nanoparticles of 10-40 nm and the cetyl trimethyl ammonium chloride are the ideal

nanoparticles and dispersant for the creation and use of the nanofluid that with the contraction of 1% achieves an effect of 95.5% of permeability in the rock. What defines the nanofluid as an excellent temporary filtering reducer. [25]

### **3.3 Copper oxide nanoparticle**

Through the application of copper oxide nanocomposites as additives synthesized in a solution polymerization process. Dispersed in two different types of drilling fluids that were controlled in the same way, it was shown that by increasing the concentrations of the nanofluids a reduction of mudcake and fluid loss was experienced with results such as 69.14% reduction with a concentration of 3.7 and 63.27% reduction with a concentration of 2.4 compared to the fluid without nanocomposite. It is concluded that the filtration volume of the fluid as well as the thickness of the filter cake experienced a considerable reduction which could be explained by the properties of CuO and the size of the nanoparticles used. [26]

### **3.4 Alumina nanoparticles**

For this research it is important to consider that alumina nanoparticles present a hydrophobic character, so that functionalization with carboxymethylcellulose (CMC) through the impregnation method did not obtain the initially expected results. Even with this limitation, a 33.33% reduction in filtration loss is verified with a 10% concentration of alumina, a greater effect than the results obtained with particles composed of silica and an average reduction of 46.34% in retort thickness, but still considerable for future research. [27]



## **4. Applications of nanotechnology in Thermal stability**

### **4.1 Silica nanoparticle**

To determine how a silica nanoparticle gives thermal stability to a WBMD is important to know the experimental process. Using a hot rolling cell, the WBMD is exposed to different high temperatures on dynamic conditions (With rotation), this is to simulate drilling conditions, after 16 hours under those conditions is necessary to cool it down at room temperature to then mix the fluid for 15 minutes. And the main idea is to determine the properties of the fluid before and after the mentioned process, a good nanoparticle would make the properties were the same after the heating. In this case, silica nanoparticle could keep the properties stable even with temperature increases of 173° F, for example, change infiltration with 173°F of heating, in the mud without nanoparticle is 53.4 cm<sup>3</sup>, but at the same conditions, the mud with nanoparticles gives a change of filtration of only 6.2 cm<sup>3</sup>. Similar behavior is shown in mud cake thickness with the same heating non-nano particle mud has a change of filter up to 116% but with the nanoparticle, it is 9.71%. Silica nanoparticle gives to the WBMD good thermal stability, this is because nanoparticles help it to keep the original properties after heating. [19]

### **4.2 Copper oxide nanoparticles**

In the case of copper oxide nanoparticle could keep the properties stable even with high-temperature increases but, in this case, salt keep an important place, there is where a good formulation of drilling fluid influences in the performance of the thermal conductivity. Nevertheless, the study showed, the more concentration of nanoparticles, the better the thermal conductivity, it is essential property in fluids to take care of downhole equipment.[17]

## Conclusions

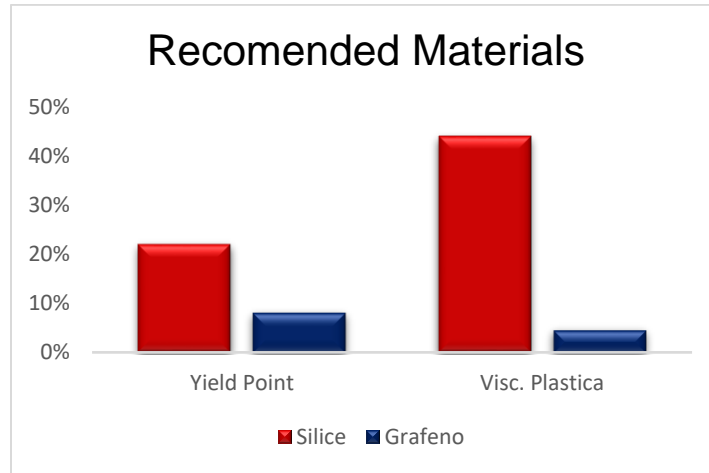
As a result of the analysis carried out, the positive impact generated by the use of nanofluids was evidenced, through the effect on their rheological behavior, their applications in the inhibition of oil shale, their influence on the control of filtration and retort thickness and the thermal stability they provide. Offering a favorable perspective for the exploitation of this type of technology, which not only contributes to scientific growth, but, by fulfilling the functions described above, can significantly reduce the costs of drilling processes in their various stages.

With respect to the inhibition of clay swelling, it is appropriate to conclude that there are a great variety of elements with which nano particles could be developed to help inhibition, by mixing them with the drilling fluid, this facilitates the creation of inhibitors which represents a significant cost saving both in the prevention and repair of possible damage to the formation.

The correct use of the different nanofluids has had satisfactory results in which there has been a reduction of the filtrate volume of up to 77%, a reduction of up to 46% of the retort thickness. This represents a reduction of approximately 51% in the risk of formation damage.

Thermal stability is one of the least studied properties of sludge. But with the development of new nanoparticles focused on this aspect, significant improvements have been observed, even around 15%. This percentage could mean a lower cost in the treatment of fluids and a longer useful life of the equipment used.

Rheological properties are the most sensitive to the use of nanoparticles since positive changes are reflected in each of the studies up to 77%.



**Figure 2. Recommended materials and their performance at minimum concentration**

## References

- [1] MortathaSaadoon Al-Yasir, WaleedTareq Al-Sallami. HowtheDrillingFluids Can be Made More EfficientbyUsingNanomaterials. American Journal of Nano Research and Applications. Vol. 3, No. 3, 2015, pp. 41-45. DOI: 10.11648/j.nano.20150303.12
- [2] Peter J. Boul,Pulickel M. Ajayan. Nanotechnology Research and Development in UpstreamOil and Gas.Willey-VCH VerlagGmbH& Co. 2020. 10.1002/ente.201901216
- [3] YuxiuAn, PeiziYu. A strong inhibition of polyethyleneimine as a scale inhibitor in drilling fluid. Journalofpetroleumscience and engineering. 2017.<https://doi.org/10.1016/j.petrol.2017.11.029>
- [4] A. Aftab, A. R. Ismail, Z. H. Ibupoto. Enhancing therheological properties and sale inhibition behavior of water-based mud using nanosilica, multi-walled carbon

- nanotube, and graphene nano platelet. Egyptian journal of petroleum. 2016.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ejpe.2016.05.004>
- [5] Eric Van Oort. On the physical and chemical stability of shales. Journal of petroleum science and engineering. 2003. doi:10.1016/S0920-4105(03)00034-2
- [6] Qiangui Zhang, Xiangyu Fan, Wenyu Jia, Yongchang Liang, Fenglin Xu, Meiheng, Duan, Yang Yang. A review of the shale wellbore stability mechanism based on mechanical–chemical coupling theories. Petroleum. 2015.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.petlm.2015.06.005>
- [7] Raoof Gholamia, Henry Elochukwu, Nikoo Fakharib, Mohammad Sarmadivalehc. A review on borehole instability in active shale formations: Interactions, mechanisms, and inhibitors. Earth – Science Reviews. 2018.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.11.002>
- [8] Zhihua Luo, Longxiang Wang, Peizhi Yu, Zhangxin Chen. Experimental study on the application of anionic liquid as a shale inhibitor and inhibitive mechanism. Applied Clay Science. 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.clay.2017.09.038>
- [9] Mengjiao Yu, Martin E. Chenevert, Mukul M. Sharma. Chemical–mechanical wellbore instability model for shales: accounting for solute diffusion. Petroleum science and engineering. 2003. doi:10.1016/S0920-4105(03)00027-5
- [10] Abdolhamid Sameni, Peyman Pourafshary, Milad Ghanbarzadeh, Shahab Ayatollahi. Effect of nanoparticles on clay swelling and migration. Egyptian journal of petroleum. 2015.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ejpe.2015.10.006>

- [11] AshokSantra, Peter J. Boul, XueyuPang. Influenceofnanomaterials in oilwellcementhydration and Mechanicalproperties. SPE 156937. 2012. doi:10.2118/156937-MS
- [12] Magda I. Youssif, Rehab M. El-Maghraby, Sayed M. Saleh, Ahmed Elgibaly. Silicananofluidfloodingforenhancedoilrecovery in sandstonerocks. EgyptianJournalofPetroleum
- [13] M.F. Fakoya, S.N. Shah, Enhancementoffiltrationproperties in surfactant-based and polymericfluidsbynanoparticles, SPE Eastern Regional Meeting, 2014.doi:10.2118/171029-MS
- [14] Cheraghian G, Wu Q, Mostofi M, Li M-Chun, Afrand M, S.Sangwai J, Effect of a Novel Clay/silica Nanocomposite on WaterBased Drilling Fluids: Improvements in Rheological and Filtration Properties, Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2018, <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2018.06.072>
- [15] A. Aftab, A. R. Ismail, Z. H. Ibupoto, Enhancing the rheological properties and shale inhibition behavior of water-based mud using nano-silica, multi-walled carbon nanotube, and graphene nanoplatelet, 2016, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejpe.2016.05.004>
- [16] Vahid Nooripoor and Abdolnabi Hashemi, Effect of a modified nano clay and nanographene on rheology, stability of water-in-oil emulsion, and filtration control ability of oil-based drilling fluids: a comparative experimental approach, 2020, <https://doi.org/10.2516/ogst/2020032>
- [17] RahmatallahSaboori, Samad Sabbaghi, Azim Kalantariasl,Improvement of rheological, filtration and thermal conductivity of bentonite drilling fluid using copper

oxide/polyacrylamide nanocomposite, 2019,  
<https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.05.038>

[18] Patel, Hasmukh, Santra, Ashok, and Carl Thaemlitz. "Functionalized Layered Nanomaterials: A Next-Generation Shale Inhibitor." Paper presented at the International Petroleum Technology Conference, Dhahran, Kingdom of Saudi Arabia, January 2020. doi: <https://doi.org/10.2523/IPTC-20014-MS>.

[19] Aramendiz, J. , Imqam, A. 2019. Water-based drilling fluid formulation using silica and graphene nanoparticles for unconventional shale applications. Journal of Petroleum Science and Engineering. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2019.04.085>

[20] Huang, X., Shen, H., Sun, J., Lv, K., Liu, J., Dong, X., Luo, S., 2018. Nanoscale Laponite as a Potential Shale Inhibitor in Water-Based Drilling Fluid for Stabilization of Wellbore Stability and Mechanism Study. ACS Appl. Mater. Interfaces 10: 33252–33259. <https://doi.org/10.1021/acsami.8b11419>.

[21] Roldán, L., Lopera, S., Cardenas, J., Zabala, R., Franco, C., Cortés, F. 2019. Effect of Silica Nanoparticles on Thermal Stability in Bentonite Free Water-Based Drilling Fluids to Improve its Rheological and Filtration Properties After Aging Process. OffshoreTechnologyConference. <https://doi.org/10.4043/29901-MS>

[22] Vargas, J., Roldán, L., Valencia, L., Lopera, S., Zabala, R., Cardenas, J., Duran, w., Franco, C., Cortés, F. 2020 Influence of size and surface acidity of silica nanoparticles on inhibition of the formation damage by bentonite-free water-based drilling fluids. Part II: dynamic filtration.

Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology, Volume 11, Issue 1, id.015011. DOI: 10.1088/2043-6254/ab6cfd

- [23] Verşan, M., BerkBal, K., 2019. Effects of silica nanoparticles on the performance of water-based drilling fluids. *Journal of Petroleum Science and Engineering* Volume, Pages 605-614. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2019.05.069>
- [24] Moraveji, M., Ghaffarkhah, A., Agin, F., Talebkeikhah, M., Jahanshahi, A., Kalantar, A., Amirhosseini, S., Karimifard, M., Mortazavipour, S., Semandhat, A., Arjhat, M. 2020. Application of amorphous silica nanoparticles in improving the rheological properties, filtration, and shale stability of glycol-based drilling fluids. *International Communications in Heat and Mass Transfer* Volume 115, 104625. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2020.104625>
- [25] Zhang, H., Zhong, Y., She, J. *et al.* Experimental study of nano-drilling fluid based on nano temporary plugging technology and its application mechanism in shale drilling. *Appl Nanosci* 9, 1637–1648 (2019). <https://doi.org/10.1007/s13204-019-01046-w>
- [26] Saboori, R., Sabbaghi, S., Kalantariasl, A., 2019. Improvement of rheological, filtration, and thermal conductivity of bentonite drilling fluid using copper oxide/polyacrylamide nanocomposite. Volume 353, Pages 257-266. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.05.038>
- [27] Betancur-Márquez, Stefanía, &Alzate-Espinosa, Guillermo a., &Cortés-Correa, Farid b. (2014). Mejoramiento de los fluidos de perforación usando nanopartículas funcionalizadas: educción de las pérdidas de filtrado y del espesor de la retorta. *boletín de ciencias de la tierra*, (35), 5-13. [fecha de consulta 13 de noviembre de

2020]. issn: 0120-3630. disponible en:

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=1695/169531421001>

[28] Azeem Rana, Ibrahim Khan, Shahid Ali, Tawfik A. Saleh y Safyan A. Khan. *Energy Fuels*. 2020 , 34 , 8 , 9515–9523. 28 de julio de 2020<https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.0c01718>

[29] Aramendiz, Jose y AbdulmohsinImqam. "Formulación de nanopartículas de óxido de grafeno y sílice para mejorar la estabilidad térmica y las capacidades de inhibición del fluido de perforación a base de agua aplicado a Woodford Shale". Documento presentado en la Conferencia internacional de SPE sobre química de yacimientos petrolíferos, Galveston, Texas, EE. UU., Abril de 2019. doi: <https://doi.org/10.2118/193567-MS>



## **ANEXO 2**

NÚMERO DE RADICACIÓN: 200119

ESTUDIANTE 1:

APELLIDOS: MENDOZA RAMÍREZ  
NOMBRES: MIGUEL ÁNGEL  
CÓDIGO: 5161482  
TEL.: 3143100004  
E-MAIL: [miguel.mendoza@estudiantes.uamerica.edu.co](mailto:miguel.mendoza@estudiantes.uamerica.edu.co)



ESTUDIANTE 2:

APELLIDOS: ROJAS PERILLA  
NOMBRES: KATERIN KORAIMA  
CÓDIGO: 5151209  
TEL.: 3184245072  
E-MAIL: [katerin.rojas@estudiantes.uamerica.edu.co](mailto:katerin.rojas@estudiantes.uamerica.edu.co)



**TÍTULO DEL PROYECTO: EVALUACIÓN DEL EFECTO EN LA INHIBICIÓN DEL HINCHAMIENTO DE ARCILLAS QUE EJERCE UNA NANOPARTÍCULA DE ÓXIDO DE SÍLICE FUNCIONALIZADA CON ÓXIDO DE BARIO UTILIZADA COMO ADITIVO EN FLUIDOS DE PERFORACIÓN BASE AGUA.**

**PALABRAS CLAVES:** Nanopartículas, Hinchamiento de Arcillas, Daño de formación.

**ÁREA DE INVESTIGACIÓN:** Lodos de perforación, Perforación, Nanotecnología.

**COBERTURA DEL PROYECTO:** UNIVERSIDAD DE AMÉRICA, UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA - SEDE MEDELLIN.

**CAMPO DE INTERÉS:** Perforación, Yacimientos.

Forma:  
TG 001  
Versión:  
01 0000

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
Facultad de ingenierías  
Programa de ingeniería de petróleos  
CARTA PRESENTACIÓN ANTEPROYECTO



Bogotá, D. C.,

06 de mayo de 2020

SEÑORES

COMITÉ DE TRABAJOS DE GRADO

FACULTAD DE INGENIERIA

PROGRAMA DE INGENIERIA DE PETROLEOS

UNIVERSIDAD DE AMÉRICA

BOGOTA, D.C.

Ref.: Presentación del anteproyecto

Respetados señores:

En cumplimiento del procedimiento de la Universidad para la elaboración del Trabajo de Grado nos permitimos presentar para los fines pertinentes el ANTEPROYECTO correspondiente a la propuesta aprobada y radicada con el número 200119 y que lleva por título: **“EVALUACIÓN DEL EFECTO EN LA INHIBICIÓN DEL HINCHAMIENTO DE ARCILLAS QUE EJERCE UNA NANOPARTÍCULA DE ÓXIDO DE SÍLICE FUNCIONALIZADA CON ÓXIDO DE BARIO UTILIZADA COMO ADITIVO EN FLUIDOS DE PERFORACIÓN BASE AGUA.”**

Cordialmente,

Firmas:

MIGUEL ÁNGEL MENDOZA RAMÍREZ  
Código: 5161482

KATERIN KORAIMA ROJAS PERILLA  
Código: 5151209

**BOGOTÁ D.C., 13 de mayo de 2020.**

**SEÑORES  
COMITÉ DE TRABAJOS DE GRADO  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
BOGOTÁ D.C.**

Respetados Señores:

Por medio de la presente y actuando en calidad de director de la propuesta de anteproyecto para el Trabajo de Grado que lleva por título:

**EVALUACIÓN DEL EFECTO EN LA INHIBICIÓN DEL HINCHAMIENTO DE ARCILLAS QUE EJERCE UNA NANOPARTÍCULA DE ÓXIDO DE SÍLICE FUNCIONALIZADA CON ÓXIDO DE BARIO UTILIZADA COMO ADITIVO EN FLUIDOS DE PERFORACIÓN BASE AGUA.**

Presentada por los estudiantes Miguel Ángel Mendoza Ramírez y Katerin Koraima Rojas Perilla. Me comprometo a apoyar con el soporte técnico y administrativo requerido para su desarrollo, a fin de que este proyecto logre los resultados esperados por los estudiantes, para la Universidad de América, la industria y el sector de hidrocarburos en Colombia.

Cordialmente,

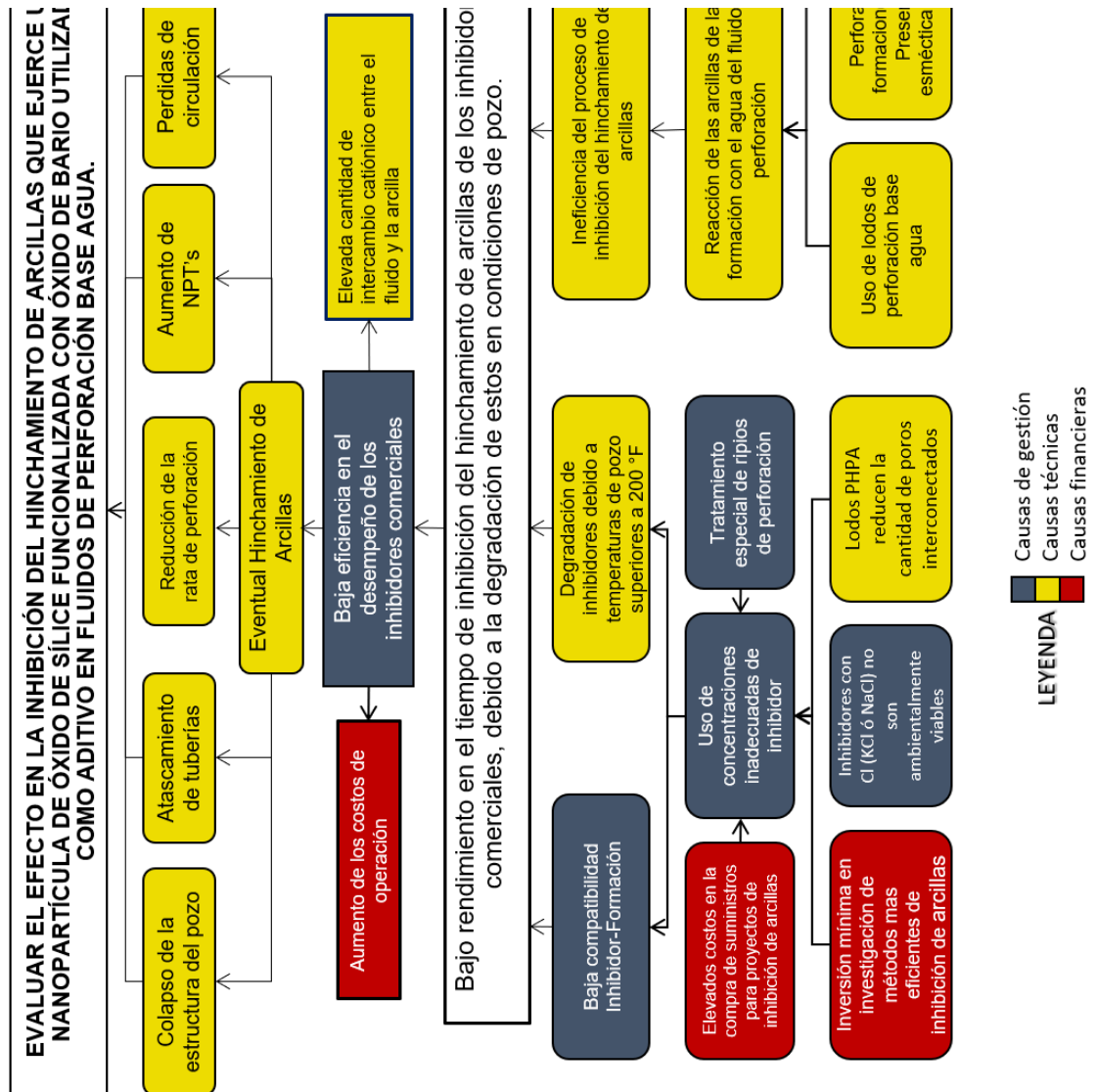


Camilo A. Franco, Ph. D.  
C.C. 1.015.418.112  
Profesor Asistente  
Facultad de Minas  
Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín  
Cel.: 321-759-0770  
cafrancoar@unal.edu.co

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En las operaciones de perforación se atraviesan secciones en donde la composición predominante es arcilla, claro está que este factor está condicionado al tipo de cuenca y por consiguiente a un tipo de litología característico con altos contenidos de arcilla, las cuales contienen minerales, como la esméctica y la caolinita, que generan un elevado intercambio catiónico al estar en contacto con fluidos de perforación base agua. Estas reacciones químicas ocasionan que las moléculas de las arcillas aumenten su volumen, mediante la adición de moléculas de agua a su estructura atómica y por ende creen un hinchamiento de la arcilla en la formación. Esto puede conllevar al colapso en la estructura del pozo, atascamiento de la tubería, reducción de la rata de perforación, pérdidas de circulación y aumento de los tiempos no productivos. Para disminuir el intercambio catiónico entre la arcilla y el fluido de perforación se emplean sales que son usadas como aditivos del lodo. Sin embargo, cuando se implementan estas sales como métodos de inhibición de arcillas se incurre en dos grandes problemas. Para que una sal inhiba un hinchamiento son necesarias elevadas concentraciones de esta, esto incurre en elevados costos de operación; y el lodo, al contener estas elevadas concentraciones de cloruros y encontrarse en contacto con los ripios provenientes de la perforación, genera que estos ripios requieran de una disposición especial. Además de las sales, también se frecuenta usar polímeros para la inhibición de arcillas, no obstante, su uso puede generar daños en la cara de la formación tales como la reducción de la permeabilidad, e igualmente presentan una degradación en el tiempo, que provocan un eventual hinchamiento de las arcillas. Esto, acompañado de una inversión mínima en el desarrollo de nuevas tecnologías ocasionan el **bajo rendimiento en el tiempo de inhibición del hinchamiento de arcillas de los inhibidores comerciales, debido a la degradación de estos en condiciones de pozo.**

ARBOL DEL PROBLEMA



## ANTECEDENTES

Durante años la perforación ha sido el pilar de la industria petrolera pues es el proceso por el cual se puede conectar un yacimiento con la superficie, esto conlleva a ser también una actividad de gran riesgo pues los errores cometidos pueden generar impacto de grandes magnitudes que lleguen a imposibilitar la extracción o que se pierda rentabilidad en el proceso, por esta razón la industria ha tenido como reto crear técnicas y tecnologías no convencionales que logren acabar con los problemas que no permiten realizar de manera correcta y exitosa dichas operaciones. Uno de los inconvenientes después de procesos de perforación y acondicionamiento es el hinchamiento de las arcillas, la ubicación de estas regularmente en la roca reservorio las expone a

los fluidos que se requieran para el pozo y allí es donde se genera la hinchazón, puesto que su manera de reaccionar con los lodos base agua afectan en gran manera al pozo provocando alteraciones en la circulación, inestabilidad o problemas de atascamiento de tubería.

Por otro lado, se conoce que la implementación de la nanotecnología ha tenido resultados bastante prometedores, ya que a través de esta se tiene el potencial para hacer contribuciones significativas en la detección de anomalías en el pozo, diagnósticos de problemáticas, tratamiento de estos y prevención de los mismos. De tal manera en el paper “Modeling of Nanoparticles Transport and Aggregation Kinetics in Porous Media Using Quadrature Method of Moments” del autor Elsayed Abdelfatah brinda una perspectiva sobre como la nanotecnología ha atraído la atención del sector petrolero debido a su potencial en aplicaciones como fluidos de perforación, fluidos de estimulación y recuperación mejorada del petróleo, enfatizando en que el reto clave para la inyección de nanopartículas en medios porosos es mantener una dispersión estable, para aprovechar su potencial en tanto se evita el daño de la formación. Presenta como conclusión una herramienta matemática y numérica para estudiar la evolución del tamaño de nanopartículas y su efecto en el transporte de esta entre medios porosos.

También es preciso resaltar la aplicación de la nanotecnología en la inhibición de arcillas que no generen efectos colaterales teniendo en cuenta las características de la formación. En el paper “Robust Clay Stabilizer to Control Swelling in a Rich Swellable Clay Formation: A Laboratory Study” de los autores Abeer Abdullatif, Ibrahim A. Al-Hulail, and Emam Al-Mutawa, se recopilan las principales características que debe tener un adecuado inhibidor para proporcionar estabilización a la arcilla, control de su tamaño, fricción reducida, y presión hidrostática adecuada al momento de exponerse a un sistema de fluidos de agua dulce.

Por consiguiente, de esta manera se puede evidenciar como la industria ha concentrado sus esfuerzos en la actualización de los métodos convencionales de realización de procesos y con esto minimizar los riesgos que pueda presentar la formación.

En el cuadro adjunto se observa de forma resumida los aportes e importancia de los antecedentes que se escogieron para el pertinente desarrollo del proyecto.

<b>EVALUAR EL EFECTO EN LA INHIBICIÓN DEL HINCHAMIENTO DE ARCILLAS QUE EJERCE UNA NANOPARTÍCULA DE ÓXIDO DE SÍLICE FUNCIONALIZADA CON ÓXIDO DE BARIO UTILIZADA COMO ADITIVO EN FLUIDOS DE PERFORACIÓN BASE AGUA.</b>		
<b>Título</b>	<b>Autores</b>	<b>Aportes</b>

<p>Design of experiments to evaluate clays with inhibition by different combinations of organic compounds and inorganic salts for application in water base drilling fluids.</p> <p>Diseño de experimentos para evaluar la inhibición de la hinchazón de arcilla por diferentes combinaciones de compuestos orgánicos y sales inorgánicas para su aplicación en fluidos de perforación a base de agua.</p>	<p>Rosângela de Carvalho Balaban, Emanuella Layne Ferreira Vidal, Maurício Rodrigues Borges. 2015. <a href="http://dx.doi.org/10.1016/j.clay.2014.12.029">http://dx.doi.org/10.1016/j.clay.2014.12.029</a></p>	<p>Diseño de experimento en donde se exponen 3 tipos de inhibidores, con concentraciones y características distintas, los cuales fueron evaluados al mismo caso de hinchazón de arcillas. Esto con el fin de concluir que condiciones son las adecuadas para un inhibidor en un fluido de perforación base agua.</p>
<p>How Do Nanoparticles Stabilize Shale? ¿Cómo las Nanopartículas estabilizan las arcillas?</p>	<p>Besmir Buranaj Hoxha, Eric Van Oort and Hugh Daigle, The University of Texas. 2017. SPE-184574-MS</p>	<p>Uso operacional de las nanopartículas en procesos de perforación y sus interacciones con la formación. Descripción de términos como Potencial Z y teoría DLVO que son conceptos esenciales a la hora de utilizar las nanopartículas en solución sobre una fase continua como un fluido de perforación base agua.</p>
<p>Influence of size and Surface acidity of silica nanoparticles on inhibition of the formation damage by bentonite-free water-based drilling fluids. Influencia del tamaño y la acidez de superficie de nanopartículas de sílice en la inhibición del daño de formación para fluidos de perforación bentónicos base agua.</p>	<p>Johanna Vargas Clavijo et al. 2019. <a href="https://doi.org/10.1088/2043-6254/ab5c17">https://doi.org/10.1088/2043-6254/ab5c17</a></p>	<p>Se estudian los efectos que tiene la acidez de superficie de la nanopartícula en la reducción del daño de formación, mediante pruebas como reducción del espesor del mud cake y el control del filtrado. Se demuestran las pruebas básicas para la caracterización de las nanopartículas que serán aditivos del lodo de perforación. Y como los resultados de estas pruebas afectan directamente las propiedades físico-químicas y reológicas del lodo de perforación usado.</p>



<p>Environmentally Acceptable Shale Inhibitors for High Performance Water-Based Muds.</p> <p>Inhibidores de esquisto ambientalmente aceptables de alto rendimiento en lodos a base agua</p>	<p>Preston May, Jay Deville, Jeffrey Miller and Kim Burrows, Halliburton. 2020. IPTC-19902-MS.</p>	<p>Se emplea una combinación de inhibidores de una mezcla híbrida orgánica/inorgánica, junto con un supresor de la hidratación, se determinó una mezcla de inhibición más efectiva en un fluido simple de la proyección. El modo de acción dual de los dos inhibidores, dispares tanto en tamaño molecular como en química, probablemente logró un óptimo blindaje interfacial en los minerales de arcilla para disminuir efectivamente la velocidad de reacción con agua. Más importante aún, la inhibición del esquisto se tradujo con éxito en un fluido completamente formulado sin afectar a las propiedades reológicas ni disminuir el control de la pérdida de fluidos.</p>
<p>Functionalized Layered Nanomaterials: A Next-Generation Shale Inhibitor</p> <p>Nanomateriales en capas funcionalizadas: Un inhibidor de esquisto de próxima generación</p>	<p>Hasmukh Patel, Ashok Santra and, Carl Thaemlitz, Aramco Services Company: Aramco Research Center – Houston. 2020. IPTC-20014-MS.</p>	<p>Para contrarrestar los efectos colaterales de la hinchazón de las arcillas se crea una nanopartícula funcionalizada especial pues el MSil-N es un híbrido de componentes orgánicos e inorgánicos. La presencia de entidades inorgánicas en el MSil-N proporciona una excelente resistencia de la capa en comparación con una película exclusivamente orgánica en la arcilla, protegiendo eficazmente la hidratación de las estas. También dado que el MSil-N iónico tiene mociones inorgánicas. Muestra</p>

		una estabilidad térmica excepcional a diferencia de los inhibidores orgánicos.
--	--	--

## JUSTIFICACION

La industria actualmente requiere de alternativas que contrarresten los riesgos presentes en los procesos de perforación de un pozo, todo esto conducido a el desarrollo de nuevas tecnologías aplicadas a la industria del Oil& Gas. Implementando nuevas técnicas y procesos notoriamente más eficientes como lo son puntualmente la implementación de nanopartículas, las cuales son conocidas por su versatilidad y precisión incluso hasta en métodos de recobro mejorado.

Con base en lo anterior esta investigación busca encontrar el método más rentable y efectivo por medio de una comparación entre los métodosconvencionales de inhibición de arcillas contra la implementación de una nanopartícula de silicato funcionalizadacon óxido de bario.

Uno de los inconvenientes más comunes a lo largo de la vida de un pozo es el hinchamiento de arcillas, esto se debe a la alta reactividad que estas tienen con el agua, siendo esta indispensable en los procesos de perforación debido al uso de fluidos base agua que en ocasiones no están condicionados para formaciones cuya composición es gran parte de arcillas, esta reacción podría llegar a generar problemas como: colapsos del pozo, pega de tubería o pérdidas de circulación.

Por esta razón es necesaria la implementación de nuevas tecnologíasque sean capaces de desempeñarse de manera óptima, por un largo periodo de tiempo y bajo condiciones de pozo extremas, para ello se sintetizará una nanopartícula que sea capaz de inhibir las arcillas reduciendo el intercambio catiónicoque existe entre esta y la superficie de la arcilla.

Todo esto con el fin de prevenirNPT's y futuros problemas de pozo, así como también una disminución de gastos económicos, energéticos y recursos técnicos de gestión en comparación con las operaciones de inhibición convencional.

## **OBJETIVO GENERAL Y ESPECIFICOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el efecto en la inhibición del hinchamiento de arcillas que ejerce una nanopartícula de óxido de sílice funcionalizada con óxido de bario utilizada como aditivo en fluidos de perforación base agua.

### **OBJETIVO ESPECIFICO**

1. Sintetizar la nanopartícula de óxido de sílice funcionalizada con óxido de bario y caracterizarla.
2. Caracterizar las propiedades físico-químicas del fluido de perforación diseñado, en presencia y ausencia de la nanopartícula sintetizada.
3. Establecer la influencia de la nanopartícula en el desempeño del perfil reológico, mud cake y filtrado del fluido de perforación diseñado.
4. Evaluar el desempeño de la nanopartícula en la inhibición del hinchamiento de arcillas.

## DELIMITACIÓN

Para el desarrollo del primer objetivo se sintetizará la nanopartícula de óxido de sílice funcionalizada con óxido de bario, es necesario realizar dos procedimientos, primero sintetizar la nanopartícula de óxido de sílice mediante el método de Sol-Gel, el cual consiste en la formación de partículas sólidas, seguida de una hidrólisis y una condensación. Estos procesos se dan en el siguiente procedimiento: para iniciar se debe generar una solución de teraretilortosilicato con etanol que será calentada a 25°C y agitada por 30 minutos, posteriormente se agrega una solución de ácido nítrico con etanol y se eleva la temperatura hasta 60°C mientras se agita por 2 horas, a continuación, se calienta a una temperatura de 100°C para una final calcinación a 600°C. En este punto la síntesis de la nanopartícula de óxido de sílice estaría finalizada, para su funcionalización es necesario agregar óxido de bario en solución a la nanopartícula, luego de esto se calienta a 100°C y se procede a calcinarse a 450°C. Con este proceso la nanopartícula de óxido de sílice funcionalizada con óxido de bario estaría sintetizada en su totalidad. Posteriormente se procede a caracterizar las propiedades físico-químicas de la nanopartícula mediante las siguientes pruebas: Diámetro hidrodinámico, este se determina mediante la prueba DLS; Potencial Z, este se obtiene mediante el equipo NanoPlus-3; Superficie de la nanopartícula, se establece mediante el método BET y por último espectrometría infrarroja, se determina con el equipo IRAffinity-1s. Este proceso de síntesis y caracterización de las nanopartículas se llevará a cabo en los laboratorios de la Universidad Nacional – Sede Medellín.

Con el fin de llevar a cabo el segundo objetivo específico, en primera instancia, se realizará el diseño de los lodos a utilizar en la prueba de inhibición de arcillas, el cual es un diseño propio, basado en las especificaciones de un lodo densificado, cuyos componentes base serán: barita, carbonato de calcio, soda caustica y goma xanthan. Bajo estas condiciones se plantearán cinco escenarios, el primero, será preparar el lodo anteriormente descrito sin ningún aditivo, el segundo y el tercero, tendrán como aditivo cloruro de potasio (KCl) en una concentración de 4 y 8 libras por barril respectivamente. Por último, el cuarto y quinto escenario poseerán como aditivo la nanopartícula sintetizada en concentraciones de 4 y 8 libras por barril respectivamente. Cabe aclarar que todos los lodos anteriormente mencionados tendrán el mismo peso y este estará en el rango de 8.5 ppg a 9 ppg. Con el objetivo de determinar las propiedades de cada uno de los fluidos de perforación se realizará el procedimiento de acuerdo a la norma API RP-13B-1, la cual dicta el adecuado procedimiento para la determinación de las siguientes propiedades: Viscosidad, pH, peso, alcalinidad, contenido de Cloro, dureza total, dureza cálcica y contenido de agua, aceites, sólidos y arenas. Esto con el fin de realizar un análisis comparativo de las propiedades físico-químicas de los fluidos de perforación en presencia y ausencia de la nanopartícula. Cada una de

estas pruebas a realizar en los fluidos de perforación se realizará en los laboratorios de la Universidad de América y/o en los laboratorios de la Universidad Nacional – Sede Medellín.

Para dar cumplimiento al tercer objetivo se realizarán las pruebas de fuerzas gel, filtrado API, y espesor del mud cake a cada uno de los lodos diseñados, para generar un análisis comparativo del comportamiento de estas propiedades en presencia y ausencia de la nanopartícula sintetizada. Cada una de estas pruebas a realizar en los fluidos de perforación se realizará en los laboratorios de la Universidad de América y/o en los laboratorios de la Universidad Nacional – Sede Medellín.

Por último, para realizar el cuarto objetivo, el cual busca evaluar el rendimiento en la inhibición del hinchamiento de arcillas del nanofluido, se propone la prueba de hinchamiento lineal de arcillas. Esta prueba consiste en poner en contacto el fluido de perforación con la arcilla dentro de un recipiente que mide el cambio porcentual del volumen. Este equipo genera graficas de porcentaje de hinchamiento contra el tiempo en horas, las cuales serán la herramienta para realizar los diferentes análisis de desempeño en la inhibición del hinchamiento de arcillas. Para el desarrollo metodológico de esta prueba se plantearán cinco escenarios comparativos los cuales son: rendimiento del lodo de inicio contra el lodo con 4 Lbm/bbl de KCl, rendimiento del lodo de inicio contra el lodo con 4 Lbm/bbl de nanopartículas, rendimiento de lodo con 4 Lbm/bbl de KCl contra lodo con 4 Lbm/bbl de nanopartículas, rendimiento de lodo con 8 Lbm/bbl de KCl contra lodo con 8 Lbm/bbl de nanopartículas, rendimiento de lodo con 4 Lbm/bbl de nanopartículas contra lodo con 8 Lbm/bbl de nanopartículas. Cabe aclarar que la totalidad de las pruebas se realizarán con una arcilla sintetizada o comprada. La prueba de hinchamiento lineal y la síntesis o compra, se realizarán en los laboratorios de Baroid (Halliburton) o de la Universidad Industrial de Santander o de la Universidad de los Andes.

## MARCO TEORICO

### 7.1 NANOTECNOLOGIA

The national nanotechnology initiative define la nanotecnología como la comprensión y el control de la materia a nano escala, en dimensiones entre aproximadamente 1 y 100 nanómetros, donde fenómenos únicos permiten aplicaciones novedosas. Al abarcar la ciencia, la ingeniería y la tecnología a nano escala, la nanotecnología implica la obtención de imágenes, la medición, el modelado y la manipulación de la materia a esta escala de longitud.

#### 7.1.1 TECNICAS DE NANOFABRICACION

Existen dos (2) técnicas de fabricación de nanopartículas las cuales son:

- **Top-down**, la idea de este proceso es realizar la fabricación de la nanopartícula a partir de grandes materiales y posteriormente ir reduciendo su tamaño hasta llevarla a una escala nanométrica. Estos métodos normalmente conllevan costos energéticos elevados, una mayor imperfección en la superficie de la estructura, así como problemas de contaminación.
- **Bottom-up** es el proceso de construcción de estructuras, átomo a átomo, o molécula a molécula. El grado de miniaturización alcanzable mediante este enfoque, es superior al que se puede conseguir con el top-down ya que, gracias a los microscopios de escaneado, se dispone de una gran capacidad para situar átomos y moléculas individuales en un lugar determinado.

#### 7.1.2 APLICACION DE LA NANOTECNOLOGIA EN LA INDUSTRIA PETROLERA

En la cotidianidad de la industria petrolera se encuentran distintos retos que podrían llegar a ser resueltos aplicando nuevos conocimientos en este caso la nanotecnología. Ejemplo de ellos los llamados nanofluidos, los cuales son una mezcla que consiste en partículas de tamaño nanométrico (partículas de tamaño nanométrico de metal, oxido, carburos, nanotubos), y fibras dispersas en un líquido, el resultado de esta mezcla es la alteración de las propiedades físicas de la base líquida, tales como viscosidad, densidad y transferencia de calor, entre otros. Estas partículas son transportadas por el líquido en una suspensión, normalmente se denomina una dispersión coloidal, con la creación de fluidos inteligentes se podrá evitar la aplicación de aditivos a los fluidos

para que realicen cierta función en el pozo, como agentes espumantes, agentes humectantes, algún lubricante o dispersantes, inhibidores, adelgazantes, etc. y con un solo fluido podamos realizar alguna otra operación.

## ARCILLAS

Las arcillas se definen como un grupo de minerales de silicatos de aluminio acuoso, formador de rocas, de estructura laminar, que pueden formarse por la alteración de los minerales de silicatos como el feldespato y el anfíbol. Algunos ejemplos comunes son la clorita, la illita, la caolinita, la montmorillonita y la esmectita. Durante la perforación de pozos son constantes los procesos en arcillas y por eso se resalta la importancia de saber cómo reaccionan ante las actividades necesarias. Algunas arcillas, tales como la montmorillonita, tienden a dilatarse si se exponen al agua, lo que genera un riesgo de perforación potencial cuando las formaciones de rocas con contenido de arcilla se exponen a los fluidos a base de agua durante la perforación, y reduce posiblemente la permeabilidad de una buena roca yacimiento.

### 7.1.3 PROPIEDADES DE LAS ARCILLAS

Para reconocer las propiedades de las arcillas es esencial saber su estructura. Los minerales presentes en la arcilla hacen parte del grupo de los filosilicatos, o silicatos en hojas, dada la morfología que suelen presentar estos minerales: hábitos tabulares y una exfoliación basal perfecta. En la figura 7.1 se muestra un esquema de la morfología presente en los filosilicatos.

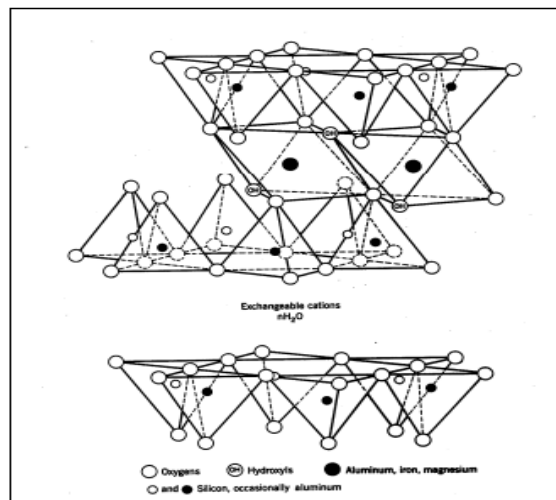


Figura 7.1 Estructuras tetraédricas de los filosilicatos

Fuente: [www.uclm.es](http://www.uclm.es)

A partir de esta información se tienen en cuenta las propiedades presentes en las arcillas las cuales pueden ser:

#### **7.1.3.1 Superficie específica**

Es el área que abarca la superficie externa sumado a el área de la superficie interna (si existe) de las partículas constituyentes, por unidad de masa, expresada en  $m^2 /g$ . Las arcillas poseen una elevada superficie específica, su importancia radica en procesos industriales donde la interacción sólido-fluido depende directamente de esta propiedad.

#### **7.1.3.2 Capacidad de Intercambio catiónico**

Algunas arcillas son capaces de cambiar, los iones fijados en la superficie exterior de sus cristales, en los espacios interlaminares, o en otros espacios interiores de las estructuras, por otros existentes en las soluciones acuosas envolventes. La capacidad de intercambio catiónico se define como la suma de todos los cationes de cambio que un mineral puede adsorber a un determinado pH. Es equivalente a la medida del total de cargas negativas del mineral.

#### **7.1.3.3 Capacidad de absorción**

Es la principal aplicación de muchas arcillas ya que pueden absorber agua u otras moléculas en el espacio interlaminar (esmeclitas) o en los canales estructurales (sepiolita y paligorskita). Esta propiedad está directamente relacionada con las características texturales (superficie específica y porosidad).

Existen dos tipos de procesos que comúnmente no se pueden dar de forma aislada:

Absorción: cuando son procesos físicos como por ejemplo la retención por capilaridad

Adsorción: se presenta cuando existe una interacción de tipo químico.

#### **7.1.3.4 Hidratación e hinchamiento**

Una de las propiedades más características e importantes de las arcillas a nivel industrial pues que la absorción de agua en el espacio interlaminar tiene como consecuencia la separación de las



láminas dando lugar al hinchamiento. Esto depende del balance entre la atracción electrostática catión-lámina y la energía de hidratación del catión. Al intercalarse las capas de agua, la separación entre las láminas aumenta, las fuerzas que predominan son de repulsión electrostática entre láminas, lo que contribuye a que el proceso de hinchamiento pueda llegar a disociar completamente unas láminas de otra.

#### **7.2.1.4.1. Prueba de Hinchamiento lineal de Arcillas**

Esta prueba se realiza mediante el equipo LSM por sus siglas en inglés (Linear Swell Meter), cuya prueba consiste en una determinación indirecta de la reactividad que posee una arcilla. El principio de esta prueba se basa en la medición del aumento en el volumen de una arcilla que se encuentra en contacto con un fluido de perforación base agua a medida que se genera el intercambio catiónico entre el fluido y la arcilla. Este cambio volumétrico es medido por medio de un cambio en la altura de un embolo que contiene bajo presión a la arcilla y al fluido, en un recipiente cilíndrico. Los resultados de esta prueba son generados en una grafica de % de volumen aumentado vs tiempo (Horas).

#### **7.1.3.5 Plasticidad**

Típica propiedad de las arcillas se debe a que el agua forma una envuelta sobre las partículas laminares produciendo así un efecto de lubricación que facilita el deslizamiento de las partículas sobre otras cuando se ejerce algún tipo de esfuerzo sobre ellas.

#### **7.1.3.6 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 se pueden convertir en un líquido cuando existen esfuerzos sobre ellas. Si, a continuación, se las deja en reposo recuperan la cohesión, así como el comportamiento propio de un sólido.

## HIPOTESIS

Mediante la implementación de una nanopartícula de óxido de sílice funcionalizada con óxido de bario como aditivo en fluidos de perforación base agua, se inhibirá el hinchamiento de arcillas con un alto grado de perdurabilidad en comparación a las operaciones de inhibición convencional

## DISEÑO METODOLOGICO

Investigación teórico-práctica, la cual está centrada en la utilización de nanopartículas de óxido sílice funcionalizadas con óxido de bario con el fin de realizar un mejor tratamiento a la inhibición de las arcillas que entran en contactos con estas.

Actividades a realizar para el desarrollo de los objetivos:

1. Estudio bibliográfico, aportes de la nanotecnología al sector petrolero, en especial a procesos de perforación.
2. Adquisición o síntesis de la arcilla a utilizar en el diseño experimental.
3. Síntesis de la nanopartícula de óxido de sílice mediante el método de Sol-Gel, para una posterior funcionalización con óxido de bario.
4. Caracterización de la nanopartícula sintetizada mediante las siguientes pruebas: Diámetro hidrodinámico, este se determinará mediante el método DLS; Potencial Z, esta propiedad se establece con el equipo NanoPlus-3; Superficie de la nanopartícula la cual es calculada por el método BET y espectrometría infrarroja la cual se realiza con el uso del equipo IRAffinity-1s.
5. Diseño y preparación de los fluidos de perforación a utilizar con los diferentes aditivos y concentraciones necesarias.
6. Caracterización de las propiedades físico-químicas de cada uno de los lodos anteriormente creados, mediante las pruebas API RP 13B-1.
7. Realizar las pruebas de hinchamiento lineal para determinar la efectividad de los lodos y las nanopartículas en las arcillas.

8. Análisis de resultados de las pruebas realizadas generando los datos esperados para la comparación de los tiempos de respuesta obtenidos con los diferentes lodos y la adición de la nanopartícula.

## DISEÑO TEMÁTICO

Resumen.

Introducción.

1. Marco teórico.
  - 1.1. Generalidades de arcillas reactivas.
  - 1.2. Fundamentos de la Nanotecnología.
  - 1.3. Generalidades de los fluidos de perforación.
2. Metodología.
  - 2.1. Descripción de la arcilla sintetizada/comprada.
  - 2.2. Caracterización de la nanopartícula sintetizada.
  - 2.3. Diseño de los lodos de perforación.
  - 2.4. Caracterización de propiedades físico-químicas de los fluidos de perforación.
  - 2.5. Prueba de hinchamiento lineal de arcillas.
3. Resultados.
  - 3.1. Resultados de las pruebas de caracterización de la nanopartícula.
  - 3.2. Resultados de las pruebas de caracterización físico-química de los fluidos de perforación.
  - 3.3. Resultados de la prueba de hinchamiento lineal.
4. Análisis de resultados.
5. Conclusiones.
6. Recomendaciones.
7. Bibliografía.
8. Anexos

## BIBLIOGRAFIA

- AIMubarak, T., AIDajani, O., & AIMubarak, M. (2015, December 6). A CollectiveClayStabilizersReview. International PetroleumTechnologyConference. doi:10.2523/IPTC-18394-MS
- May, P., Deville, J., Miller, J., & Burrows, K. (2020, January 13). EnvironmentallyAcceptableShaleInhibitorsfor High Performance Water-BasedMuds. International PetroleumTechnologyConference. doi:10.2523/IPTC-19902-MS
- Patel, H., Santra, A., & Thaemlitz, C. (2020, January 13). FunctionalizedLayeredNanomaterials: A Next-GenerationShaleInhibitor. International PetroleumTechnologyConference. doi:10.2523/IPTC-20014-MS
- Hoxha, B. B., Oort, E. van, & Daigle, H. (2017, April 3). How Do NanoparticlesStabilizeShale. SocietyofPetroleumEngineers. doi:10.2118/184574-MS
- Abdullatif, A., Al-Hulail, I. A., & Al-Mutawa, E. (2020, January 13). RobustClayStabilizerto Control Swelling in a RichSwellableClayFormation: A LaboratoryStudy. International PetroleumTechnologyConference. doi:10.2523/IPTC-20305-MS
- Patel, A., Towler, B., Rudolph, V., & Rufford, T. (2019, November 15). SwellingInhibitionofBentoniteClayby MgOH<sub>2</sub> PrecipitationUsingDifferent Mg Salts. UnconventionalResourcesTechnologyConference. doi:10.15530/AP-URTEC-2019-198301
- Franco-Ariza, Camilo Andrés, Guzmán-Calle, Juan David, & Cortés-Correa, Farid Bernardo. (2016). Adsorption and catalyticoxidationofasphaltenes in fumedsilicananoparticles: Effectofthesurfaceacidity. DYNA, 83(198),171-179. Doi: 10.15446/dyna.v83n198.56106
- THE NATIONAL NANOTECHNOLOGY INITIATIVE. Qué es y cómo funciona. {Consultado 22 de abril de 2020}. Disponible en: <https://www.nano.gov/nanotech-101/what>
- Subhash N. Shah, Ph.D., P.E., Narayan H. Shanker; Chinenye C Future Challenges of Drilling Fluids and Their Rheological Measurements. Ogunbue Well Construction Technology Center, Universidad de Oklahoma.
- Schlumberger Limited, Oilfieldglossary, 2020. Modificado por los autores.
- Arcillas. Disponible en: [http://caminos.udc.es/info/asignaturas/grado\\_tecic/211/algloki/pdfs/ARCILLAS.pdf](http://caminos.udc.es/info/asignaturas/grado_tecic/211/algloki/pdfs/ARCILLAS.pdf)

Forma:  
TG 001  
Versión:  
01 2000

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
Facultad de ingenierías  
Programa de ingeniería de petróleos  
ANTEPROYECTO



- 
- GARCIA ROMERO, Emilia; SUAREZ BARRIOS, Mercedes. LAS ARCILLAS: PROPIEDADES Y USOS. Madrid.Universidad Complutense; Universidad de Salamanca. Modificado por los autores.
  - FannInstrument Co., Linear Swell Meter, Model 2100 instruction manual No. 102114531, revision E, Instrument No. 102123383., 2018, Disponible en: [https://www.fann.com/content/dam/fann/Manuals/LSM\\_2100\\_Manual\\_102114531.pdf](https://www.fann.com/content/dam/fann/Manuals/LSM_2100_Manual_102114531.pdf)

## CRONOGRAMA

TIEMPO ACTIVIDADES	AGOSTO				SEPTIEMBRE				OCTUBRE				NOVIEMBRE			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Revisión bibliográfica	X	X	X													
Compra o síntesis de la arcilla			X	X												
Sintetizar la nanopartícula				X												
Caracterizar la nanopartícula				X	X											
Diseño de los fluidos de perforación con los diferentes aditivos y concentraciones					X	X										
Pruebas a los lodos							X	X								
Pruebas de hinchamiento lineal								X	X	X						
Análisis de resultados											X	X				
Conclusiones, recomendaciones y redacción del documento.													X	X	X	X
LINEA DE AVANCE (%)																
LINEA DE CONTROL	2	8	10	18	25	30	38	45	50	55	60	65	75	86	95	100
OBSERVACIONES																



MIGUEL ÁNGEL MENDOZA RAMÍREZ  
CODIGO:5161482



KATERIN KORAIMA ROJAS PERILLA  
CODIGO: 5151209

PRESUPUESTO

	\$/ Prueba	No. Pruebas	Total	Fuente Financiadora
<b>GASTOS MAQUINARIA Y EQUIPO</b>				
Diámetro Hidrodinámico	\$ 300.000	6	\$ 1.800.000	U.N SEDE MEDELLIN
Potencial Z	\$ 200.000	30	\$ 6.000.000	U.N SEDE MEDELLIN
Superficie de I-a Nanopartícula (BET)	\$ 300.000	6	\$ 1.800.000	U.N SEDE MEDELLIN
Espectrometría Infrarroja	\$ 250.000	6	\$ 1.500.000	U.N SEDE MEDELLIN
Síntesis de la arcilla	\$ 150.000	1	\$ 150.000	ESTUDIANTES/BAROID
Densidad	\$ 32.000	5	\$ 160.000	U. AMÉRICA
Viscosidad	\$ 27.000	5	\$ 135.000	U. AMÉRICA
ρ API	\$25.000	5	\$ 25.000	U. AMÉRICA
Alcalinidad	\$ 23.000	5	\$ 115.000	U. AMÉRICA
Pruebas Químicas	\$ 23.000	5	\$ 115.000	U. AMÉRICA
Contenido de Agua y BSW	\$4.000	5	\$ 160.000	U. AMÉRICA
pH	\$5.000	5	\$ 170.000	U. AMÉRICA
Prueba de hinchamiento lineal	\$ 350.000	5	\$ 1.750.000	ESTUDIANTES/BAROID
Total-Gastos de Maquinaria	\$ 13.695.000			
	\$/ Hora	No. Hora	Total	Fuente Financiadora
<b>TALENTO HUMANO</b>				
Investigadores	\$ 20.000	600	\$ 12.000.000	ESTUDIANTES
Director	\$ 300.000	20	\$ 6.000.000	ESTUDIANTES
Total-Talento humano	\$ 18.000.000			
<b>FUNGIBLES</b>				
Materiales reactivos	N/A	N/A	\$ 2.250.000	U.N SEDE MEDELLIN
Fotocopias/papel	N/A	N/A	\$ 500.000	ESTUDIANTES
Total-Fungibles	\$ 2.750.000			
<b>OTROS GASTOS</b>				
Alimentación	N/A	N/A	\$ 1.500.000	ESTUDIANTES
Estadías	N/A	N/A	\$ 1.250.000	ESTUDIANTES
Viajes	N/A	N/A	\$ 1.800.000	ESTUDIANTES
Transporte	N/A	N/A	\$ 700.000	ESTUDIANTES
Total, otros gastos	\$ 5.250.000			
<b>TOTAL-SIN IMPREVISTOS</b>	<b>\$ 39.695.000</b>			
<b>IMPREVISTOS</b>	<b>\$ 1.984.750</b>			
<b>COSTO TOTAL DEL PROYECTO</b>	<b>\$ 41.679.750</b>			

## ACTA DE COMPROMISO DE PROPIEDAD INTELECTUAL

Nosotros, MIGUEL ANGEL MENDOZA RAMIREZ identificado (a) con la Cédula de Ciudadanía N° 1'018.504.577 de Bogotá D.C. y Código 5161482 y KATERIN KORAIMA ROJAS PERILLA identificado (a) con la Cédula de Ciudadanía N° 1'032.485.431 de Bogotá D.C. y Código 5151209, nos comprometemos a respetar la Propiedad Intelectual en el desarrollo del Trabajo de Grado titulado: **“EVALUACIÓN DEL EFECTO EN LA INHIBICIÓN DEL HINCHAMIENTO DE ARCILLAS QUE EJERCE UNA NANOPARTÍCULA DE ÓXIDO DE SÍLICE FUNCIONALIZADA CON ÓXIDO DE BARIO UTILIZADA COMO ADITIVO EN FLUIDOS DE PERFORACIÓN BASE AGUA.”** Para ello siempre se citarán las fuentes de donde provenga la información y en ningún momento se hará plagio, modificación o alteración del material consultado para de alguna manera hacerlo parecer elaborado por los autores del presente Trabajo de Grado. En constancia de lo expresado anteriormente se firma este documento a los seis (06) días del mes de mayo del presente año.



MIGUEL ÁNGEL MENDOZA RAMÍREZ  
C.C. 1'018.504.577 De Bogotá D.C.



KATERIN KORAIMA ROJAS PERILLA  
C.C.1'032.485.431 De Bogotá D.C.



Forma:  
TG 001  
Versión:  
01 2000

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
Facultad de ingenierías  
Programa de ingeniería de petróleos  
CORRECCIONES ANTEPROYECTO  
TRABAJO DE GRADO



NÚMERO DE RADICACIÓN: 200119

TÍTULO DEL ANTEPROYECTO: **EVALUACIÓN DEL EFECTO EN LA INHIBICIÓN DEL HINCHAMIENTO DE ARCILLAS QUE EJERCE UNA NANOPARTÍCULA DE ÓXIDO DE SÍLICE FUNCIONALIZADA CON ÓXIDO DE BARIO UTILIZADA COMO ADITIVO EN FLUIDOS DE PERFORACIÓN BASE AGUA.**

PROponentes

ESTUDIANTE 1: MIGUEL ÁNGEL MENDOZA RAMÍREZ    CÓDIGO: 5161482

ESTUDIANTE 2: KATERIN KORAIMA ROJAS PERILLA    CÓDIGO: 5151209

Fecha	Correcciones	Firma

<b>Día:</b>	<b>Mes:</b>	<b>Año:</b>
-------------	-------------	-------------

\_\_\_\_\_  
Secretario del Comité  
de Trabajo de Grado

\_\_\_\_\_  
Director del Programa

Forma:  
TG 001  
Versión:  
01 2006

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
Facultad de ingenierías  
Programa de ingeniería de petróleos  
CORRECCIONES ANTEPROYECTO  
TRABAJO DE GRADO



NÚMERO DE RADICACIÓN: 200119

TÍTULO DEL ANTEPROYECTO: **EVALUACIÓN DEL EFECTO EN LA INHIBICIÓN DEL HINCHAMIENTO DE ARCILLAS QUE EJERCE UNA NANOPARTÍCULA DE ÓXIDO DE SÍLICE FUNCIONALIZADA CON ÓXIDO DE BARIO UTILIZADA COMO ADITIVO EN FLUIDOS DE PERFORACIÓN BASE AGUA.**

PROPONENTES

ESTUDIANTE 1: MIGUEL ÁNGEL MENDOZA RAMÍREZ CODIGO: 5161482

ESTUDIANTE 2: KATERIN KORAIMA ROJAS PERILLACÓDIGO: 5151209

Ítem evaluado	No aprobado	Correcciones	Aprobado
Pertinencia del Marco Teórico			
Suficiencia del Marco Teórico			
Pertinencia de la Hipótesis o Solución Propuesta			
Claridad y precisión de la Hipótesis o Solución Propuesta			
Fuentes de Información y su confiabilidad			
Técnicas de recolección de datos			
Método de análisis y valoración de datos			
Uso de herramientas propias de la carrera			
Pertinencia de las acciones programadas			
Suficiencia de las acciones programadas			
Orden lógico de las acciones			

Forma:  
TG 001  
Versión:  
01 2006

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
Facultad de ingenierías  
Programa de ingeniería de petróleos  
CORRECCIONES ANTEPROYECTO  
TRABAJO DE GRADO



---

programadas			
Coherencia entre Cronograma y lo programado			
Pertinencia o suficiencia de la bibliografía			
<b>ANTEPROYECTO EN CONJUNTO</b>			


<b>Día:</b>	<b>Mes:</b>	<b>Año:</b>
-------------	-------------	-------------

---

Secretario del Comité  
de Trabajo de Grado

---

Director del Programa

 Fundación <b>Universidad de América</b>	<b>COMITÉ DE PROYECTOS DE GRADO</b>	<b>Fecha:</b> octubre 2020	<b>Versión:</b> 01
	<b>PROGRAMA DE INGENIERÍA DE PETROLEOS</b>	<b>Instructivo</b> Modificación anteproyecto, como medida de contingencia a causa de la emergencia sanitaria por el Covid-19. II-2020	

Bogotá, D. C., 21 de octubre de 2020


SEÑORES COMITÉ DE TRABAJOS DE GRADO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
BOGOTÁ D.C

Ref.: Modificación de anteproyecto

Estimados señores, comité de grado:

Por medio de la presente los estudiantes Miguel Ángel Mendoza Ramírez y Katerin Koraima Rojas Perilla pertenecientes al programa de ingeniería de petróleos, identificados por los códigos 5161482 y 5151209 respectivamente.

En cumplimiento del procedimiento de la Facultad para la modificación del anteproyecto de trabajo de grado. Solicitamos realizar modificaciones en el anteproyecto presentado anteriormente para verificar su trazabilidad y seguimiento todo esto como medida de contingencia a causa de la emergencia sanitaria por el Covid-19.


 Fundación <b>Universidad de América</b>	<b>COMITÉ DE PROYECTOS DE GRADO</b>	<b>Fecha:</b> octubre 2020	<b>Versión:</b> 01
	<b>PROGRAMA DE INGENIERÍA DE PETROLEOS</b>	<b>Instructivo</b> Modificación anteproyecto, como medida de contingencia a causa de la emergencia sanitaria por el Covid-19. II-2020	

**OBJETIVO:** Realizar la solicitud de modificación anteproyecto, como medida de contingencia a causa de la emergencia sanitaria por el Covid-19.

**Fecha de solicitud de modificación:** 09/21/2020

**Referencia:** 200119

	<b>APROBADO(Anteproyecto)</b>	<b>MODIFICADO</b>
<b>TITULO</b>	EVALUACIÓN DEL EFECTO EN LA INHIBICIÓN DEL HINCHAMIENTO DE ARCILLAS QUE EJERCE UNA NANOPARTÍCULA DE ÓXIDO DE SÍLICE FUNCIONALIZADA CON ÓXIDO DE BARIO UTILIZADA COMO ADITIVO EN FLUIDOS DE PERFORACIÓN BASE AGUA.	NANOTECNOLOGIA APLICADA EN FLUIDOS DE PERFORACIÓN BASE AGUA PARA EVITAR EL DAÑO DE FORMACIÓN
<b>OBJETIVO GENERAL</b>	Evaluar el efecto en la inhibición del hinchamiento de arcillas que ejerce una nanopartícula de óxido de sílice funcionalizada con óxido de bario utilizada como aditivo en fluidos de perforación base agua.	Realizar un análisis comparativo de los diferentes usos de diversas nanopartículas como aditivos que eviten el daño de formación, en la formulación de lodos de perforación base agua.
<b>OBJETIVOS ESPECIFICOS</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sintetizar la nanopartícula de óxido de sílice funcionalizada con óxido de bario y caracterizarla.</li> <li>2. Caracterizar las propiedades físico-químicas del fluido de perforación diseñado, en presencia y ausencia de la nanopartícula sintetizada.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Reconocer las principales aplicaciones de los nanofluidos en la industria del petróleo.</li> <li>2. Recopilar información de distintos tipos de nanopartículas utilizadas para contrarrestar el</li> </ol>

 Fundación <b>Universidad de América</b>	<b>COMITÉ DE PROYECTOS DE GRADO</b>	<b>Fecha:</b> octubre 2020	<b>Versión:</b> 01
	<b>PROGRAMA DE INGENIERÍA DE PETROLEOS</b>	<b>Instructivo</b> Modificación anteproyecto, como medida de contingencia a causa de la emergencia sanitaria por el Covid-19. II-2020	


	3. Establecer la influencia de la nanopartícula en el desempeño del perfil reológico, mud cake y filtrado del fluido de perforación diseñado.  4. Evaluar el desempeño de la nanopartícula en la inhibición del hinchamiento de arcillas.	daño de formación.  3. Analizar el efecto que conlleva el uso de nanopartículas en los lodos de perforación.
<b>OBSERVACIONES</b>		

Anexos:

### **DELIMITACIÓN:**

Para el desarrollo del primer objetivo se realizará una compilación documental donde el tema central sea las diferentes aplicaciones de la nanotecnología en la industria del Oil and Gas, esto con el fin de contextualizar acerca del uso de esta tecnología emergente y su versatilidad de aplicaciones en la industria. Para esto se hará uso de bases de datos que contienen revistas digitales de variadas editoriales, para seleccionar artículos publicados enfocados específicamente en la implementación de nanopartículas en las diversas especificaciones de la industria petrolera.

Con el fin de llevar a cabo el segundo objetivo específico, se realizará nuevamente un compendio documental usando de bases de datos que contienen revistas digitales que estará enfocado en las propiedades de los fluidos de perforación base agua y como estos influyen en la formación, haciendo énfasis en los aspectos negativos que tiene un lodo de perforación base agua, y que generan daño de formación al momento de perforación. Y como las nanopartículas pueden dar solución o mitigar los diversos daños de formación identificados.

 Fundación <b>Universidad de América</b>	<b>COMITÉ DE PROYECTOS DE GRADO</b>	<b>Fecha:</b> octubre 2020	<b>Versión:</b> 01
	<b>PROGRAMA DE INGENIERÍA DE PETROLEOS</b>	<b>Instructivo</b> Modificación anteproyecto, como medida de contingencia a causa de la emergencia sanitaria por el Covid-19. II-2020	

Para dar cumplimiento al tercer objetivo se generará un análisis comparativo, que identifique las propiedades cada una de las nanopartículas estudiadas, y sus diferentes aplicaciones para mitigar o eliminar el daño de formación así mismo como las repercusiones, si las hay, del uso de dichas nanopartículas como aditivos en el lodo de perforación. Y así poder generar conclusiones y recomendaciones del uso de diversas nanopartículas para solucionar problemas reales de campo en el proceso de perforación.

Cordialmente,



MIGUEL ÁNGEL MENDOZA RAMÍREZ

Código: 5161482



KATERIN KORAIMA ROJAS PERILLA

Código: 5151209

## **ANEXO 3**



**BOGOTÁ D.C., 11 de diciembre de 2020.**

**SEÑORES  
COMITÉ DE TRABAJOS DE GRADO  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
BOGOTÁ D.C.**

Respetado comité,

Por medio de la presente, me permito informar que el trabajo de grado titulado "**NANOTECNOLOGIA APLICADA EN FLUIDOS DE PERFORACIÓN BASE AGUA PARA INHIBIREL DAÑO DE FORMACIÓN**", elaborado por los estudiantes MIGUEL ANGEL MENDOZA RAMIREZ identificado con CC No. 1.018.504.577 de Bogotá D.C. y KATERIN KORAIMA ROJAS PERILLA identificado con CC No. 1.032.485.431 de Bogotá D.C., se ha desarrollado bajo mi supervisión, cumpliendo con los objetivos del proyecto y por lo anterior doy mi aval para su culminación y presentación final.

Los resultados de este proyecto han sido satisfactorios y por lo anterior sus resultados se implementarán en la Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín.

---

Camilo A. Franco, Ph. D.  
C.C. 1.015.418.112  
Profesor Asistente  
Facultad de Minas  
Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín  
Cel.: 321-759-0770  
caafancoar@unal.edu.co