



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA EN PETRÓLEO**

**TEMA:**

**“INVESTIGACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL CEMENTO PORTLAND Y  
GEOPOLÍMEROS, EN PRESENCIA DE FLUIDO DE PERFORACIÓN, BASE  
AGUA”**

**“TRABAJO DE INVESTIGACIÓN”**

**TESINA**

**AUTOR:**

**SABANDO MORÀN LORENA PAOLA**

**TUTOR:**

**ING. CARLOS ALBERTO PORTILLA LAZO**

**LA LIBERTAD – ECUADOR**

**2020**

**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA EN PETRÓLEO**

**TEMA:**

**INVESTIGACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL CEMENTO PORTLAND Y  
GEOPOLÍMEROS, EN PRESENCIA DE FLUIDO DE PERFORACIÓN, BASE  
AGUA**

**“TRABAJO DE INVESTIGACIÓN”**

**TESINA**

**AUTOR:**

**SABANDO MORAN LORENA PAOLA**

**TUTOR:**

**ING. CARLOS ALBERTO PORTILLA LAZO**

**UPSE  
LA LIBERTAD – ECUADOR**

**2020**



Santa Elena 03 de Marzo 2020

## CARTA DE ORIGINALIDAD

**Ing. Marllelis Gutiérrez Hinestroza, PhD.**  
**Directora de la carrera de petróleo**  
**Universidad Estatal Península de Santa Elena**

Cumpliendo con los requisitos exigidos, envío a Uds. La Tesina titulada “**INVESTIGACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL CEMENTO PORTLAND Y GEOPOLÍMEROS, EN PRESENCIA DE FLUIDO DE PERFORACIÓN, BASE AGUA**”, para que se considere la sustentación, señalando lo siguiente.

1. La investigación es original.
2. No existen compromisos ni obligaciones financieras con organismos estatales ni privados que puedan afectar el contenido, resultados o conclusiones de la presente investigación.
3. Constatamos que la persona designada como autor es el responsable de generar la versión final de la investigación.
4. El tutor certifica la originalidad de la investigación y el desarrollo de la misma cumpliendo con los principios éticos.

**LORENA PAOLA SABANDO MORAN**  
**Autor: Nombres y Apellidos**

**PORTILLA LAZO CARLOS ALBERTO**  
**Tutor: Nombres y Apellidos**

**Firma:** \_\_\_\_\_

**Firma:** \_\_\_\_\_

**N° de cedula:** 2400087223

**N° de cedula:** 0913412367

**Correo:** [vict18@hotmail.es](mailto:vict18@hotmail.es)

**Correo:** [cportilla@upse.edu.ec](mailto:cportilla@upse.edu.ec)

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de investigación lo dedico principalmente a Dios, por ser quien me da la vida y las fuerzas necesarias para seguir adelante.

A mis padres, por su apoyo incondicional en todo momento, por todo su esfuerzo desde antes de mi formación profesional, por su amor y su confianza.

A mi esposo, que me ha brindado su apoyo, comprensión y confianza durante todos estos años, y ha sido quien con paciencia y amor me ha ayudado a alcanzar esta meta.

A mi hijo, quien se convirtió en mi razón principal para seguir adelante y esforzarme cada día.

A mis suegros, porque confiaron en mí y no dudaron en apoyarme en todo momento, por todo el esfuerzo y ayuda que me brindaron.

A mis hermanos, que a pesar de la distancia y dificultades siempre han estado presentes, animándome y motivándome para seguir adelante.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios porque ha cuidado de mí en los momentos más difíciles, me ha fortalecido para culminar con éxito esta meta, y ha puesto en mi camino a grandes personas que me ayudaron de muchas maneras.

A mis Padres María y Valerio, por cada palabra de aliento, por enseñarme a no rendirme e inculcarme valores y principios que me han ayudado a lo largo de mi carrera, porque creyeron en mis sueños y estuvieron conmigo siempre.

A mi esposo Esteban, porque sin su apoyo y confianza no hubiera logrado mi objetivo, por su compañía en todo momento, por sus palabras de motivación en las situaciones difíciles, por todas las malas noches, por su paciencia y comprensión durante todo este tiempo.

A mis suegros Eliseo y Mabel, gracias porque no dudaron en apoyarme desde el principio, de todas las maneras posibles, por sus consejos, por hacerme sentir como una hija más. Porque todo esto ha sido fundamental en mi formación profesional.

A mis hermanos especialmente a mi hermano Javier, que aunque por circunstancias de la vida ya no esté con nosotros, siempre fue una razón fuerte para avanzar, su aporte fue muy importante en la culminación de esta meta.

A la Universidad Estatal Península de Santa Elena, por haberme permitido formarme en ella y brindarme una educación de calidad, así mismo a los docentes que impartieron sus conocimientos y experiencias, para ayudarnos y motivarnos a seguir adelante en nuestra formación profesional

**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA**

**FACULTAD DE CIENCIA DE LA INGENIERIA**

**INGENIERIA EN PETRÓLEO**

**“INVESTIGACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL CEMENTO PORTLAND Y  
GEOPOLÍMEROS, EN PRESENCIA DE FLUIDO DE PERFORACIÓN, BASE  
AGUA”**

**Autora: Lorena Paola Sabando Morán**

**Tutor: Ing. Carlos Alberto Portilla Lazo**

**RESUMEN**

El presente trabajo, se trata de la investigación y comparación del rendimiento del cemento Portland y Geopolímeros, que a pesar de que el cemento Portland se ha utilizado durante muchos años, tiene varios inconvenientes, incluyendo fallos operacionales e impactos ambientales severos. Sin embargo, hace unos años, salió un nuevo material rentable llamado Geopolímero. En esta investigación, se utilizó un geopolímero basado en cenizas volantes.

La resistencia mecánica más alta de Geopolímeros, utilizando cenizas volantes en comparación con cemento Portland, es muy prometedor para alcanzar los objetivos de integridad, término del pozo y el cumplimiento de los criterios de regulación para el aislamiento zonal. Se hará un estudio de las siguientes mediciones como son: El comportamiento reológico, resistencia a la compresión, y las pruebas de pérdida de fluido. Una vez con los resultados se hará una comparación, de las mediciones del cemento Portland y Geopolímeros, viendo el rendimiento de cada uno de ellos y concluyendo que los geopolímero a base de cenizas volantes tiene el potencial de ser una alternativa ecológica a cemento Portland en la cementación de pozos de petróleo.

**Palabras claves:** Cemento Portland, Geopolímeros, Cenizas Volantes, Reología.

**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA**

**FACULTAD DE CIENCIA DE LA INGENIERIA**

**INGENIERIA EN PETRÓLEO**

**"INVESTIGATING OF THE PERFORMANCE OF PORTLAND CEMENT AND  
GEOPOLYMERS, IN THE PRESENCE OF DRILLING FLUID, WATER  
BASED"**

**Autora: Lorena Paola Sabando Morán**

**Tutor: Ing. Carlos Alberto Portilla Lazo**

**ABSTRACT**

This is about the research and comparison of the performance of Portland cement and Geopolymers, which despite the fact that Portland cement has been used for many years, has several drawbacks, including operational failures and severe environmental impacts. However, a few years ago, a new profitable material called Geopolymer came out. In this investigation, a geopolymer based on fly ash was used.

The higher mechanical strength of Geopolymers, using fly ash compared to Portland cement, is very promising for achieving integrity goals, well completion and meeting regulatory criteria for zonal isolation. A study will be made of the following measurements such as: The rheological behavior, compressive strength, and fluid loss tests. Once with the results, a comparison will be made of the measurements of Portland cement and Geopolymers, seeing the performance of each of them and concluding that the geopolymer based on fly ash has the potential to be an ecological alternative to Portland cement in the oil well cementing.

**Keywords:** Portland Cement, Geopolymers, Fly Ash, Rheology.

<b>Tabla de contenido</b>	
<b>CARTA DE ORIGINALIDAD</b>	iii
<b>DEDICATORIA</b>	iv
<b>AGRADECIMIENTO</b>	v
<b>RESUMEN</b>	vi
<b>ABSTRACT</b>	vii
<b>INDICE DE GRAFICOS</b>	x
<b>INDICE DE TABLAS</b>	x
<b>INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>CAPITULO I</b>	2
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.2 JUSTIFICACION	2
1.3 OBJETIVO GENERAL	3
1.3.1 Objetivos específicos	3
1.4 ANTECEDENTES	4
<b>CAPITULO II</b>	5
MARCO TEÓRICO	5
2.1. Cemento Portland	5
2.2 Cenizas Volantes	6
2.3 Geopolímeros	7
2.4 Mezcla alcalina	7
2.4.1 Hidróxido de sodio (NaOH)	7
2.4.2 Solución de silicato de sodio ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ )	7
2.5 Fluido de Perforación	7
<b>CAPITULO III</b>	8
<b>METODOLOGÍA</b>	8
3.1 Metodología de la investigación	8
3.2 Procedimientos	8
3.2.1 Preparación de los Geopolímeros	8
2.2.2 Preparación del cemento portland	10
2.3 Mediciones y Pruebas	11
2.3.1 Densidad y Reología	11
2.3.2 Prueba Resistencia a la compresión	12



2.3.3 Prueba de la pérdida de líquidos .....	13
<b>CAPITULO IV</b> .....	14
<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b> .....	14
4.1 Resultados de la medición de densidad .....	14
4.2 Resultados de Reología. ....	15
4.3 Los resultados de resistencia a compresión .....	16
4.4 Resultados de la prueba de pérdida de fluidos .....	17
<b>CONCLUSIONES</b> .....	20
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	21
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	22

## INDICE DE GRAFICOS

<i>Figura 1: Reacción de cenizas volantes con activador alcalino para producir Geopolímeros</i> .....	10
<i>Figura 2: Viscosímetro OFITE</i> .....	11
<i>Figura 3: Unidad de prensa Hidráulica</i> .....	12
<i>Figura 4: Celda de Filtrado</i> .....	13

## INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1: Composición química del cemento portland</i> -----	5
<i>Tabla 2: Composición química de las cenizas volantes</i> -----	6
<i>Tabla 3: Muestra los diseños de mezcla que se investigaron en este estudio para diferentes concentraciones de hidróxido de sodio.</i> -----	9
<i>Tabla 4: Diseño óptimo de Geopolímeros.</i> -----	9
<i>Tabla 5: Mezcla de cemento Portland</i> -----	10
<i>Tabla 6: Densidades de geopolímero y cemento Portland después de agregar lodo a base de agua.</i> ----	14
<i>Tabla 7: Viscosidades de geopolímero y cemento Portland utilizando diferentes porcentajes en peso de lodo a base de agua</i> -----	15
<i>Tabla 8: Resistencia a la compresión del geopolímero y cemento Portland después de 1, 3 y 7 días para lechadas de referencia.</i> -----	16
<i>Tabla 9: Resistencia a la compresión del geopolímero y cemento Portland después de 1, 3 y 7 días usando 10 por ciento en peso de fluido de perforación.</i> -----	17
<i>Tabla 10: Pérdida de fluido geopolímero con diferentes porcentajes en peso de fluidos de perforación</i> -	18
<i>Tabla 11: Pérdida de fluido de cemento Portland con diferentes porcentajes en peso de fluidos de perforación.</i> -----	19

## INTRODUCCIÓN

Actualmente se conoce que el proceso de fabricación del cemento Portland, lleva consigo una alta contaminación ambiental en donde se libera grandes cantidades de  $CO_2$ , ya que para su elaboración se requieren entre 10-11 MJ/Kg de energía anualmente, lo que representa aproximadamente de 2 a 3% de energía primaria global, que normalmente se consiguen mediante la utilización de combustibles fósiles, durante la aplicación de esta energía en su fabricación ocurren una serie de reacciones químicas en donde existe una ruptura del carbonato de calcio en óxido de calcio y dióxido de carbono.

Obtener un cemento utilizando un material aluminosilicatos (cenizas volantes) que es el principal componente del geopolímero, activado alcalinamente. Las cenizas volantes se producen como un subproducto de la quema de carbón, y como no tiene un mercado importante, es extremadamente barato de adquirir. Sin embargo, el cemento Portland requiere un ingrediente específico que es relativamente caro de adquirir, comparado con el geopolímero.

Se estima que la producción de cemento por medio de la activación alcalina podría resultar en una disminución del 80% de las emisiones de  $CO_2$  en comparación del cemento Portland.

# CAPITULO I

## 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las graves dificultades operativas y los enormes problemas ambientales, así como los altos costos de reparación, podrían ser el resultado de la pérdida del aislamiento zonal. Por eso es importante considerar el tipo de cemento que se va a utilizar, ya que la cementación de pozos es una de las etapas más importante durante la perforación. La problemática está en que se ha demostrado que el cemento Portland tiene un alto nivel de contaminación medioambiental.

Este cemento tiene liberaciones de grandes cantidades de  $CO_2$ , ya que para su elaboración requiere de energía primaria global, que normalmente se consiguen mediante la quema de una gran cantidad de combustibles y la descomposición de la piedra caliza provocando así enormes volúmenes de dióxido de carbono.

## 1.2 JUSTIFICACION

Con la presente investigación se pretende demostrar por medio de pruebas y mediciones, que puede existir una opción, que no solo disminuiría en gran cantidad la contaminación por reacciones químicas, si no que sería también una alternativa económicamente rentable.

Los Geopolímeros tienen la ventaja, además de emitir bajas cantidades de  $CO_2$  en su producción, de tener una gran resistencia química y térmica, así como también buenas propiedades mecánicas, lo que les permite tener un buen comportamiento tanto a temperatura ambiente como extremas. Tienen resistencia a la compresión, pueden ser producidos en diferentes concentraciones de NaOH y diferentes condiciones de curado, y de acuerdo a su investigación sería una alternativa posible.

### **1.3 OBJETIVO GENERAL**

Demostrar que el Geopolímero es una alternativa ecológica y económica al cemento portland, mediante las diferentes investigaciones y pruebas, para aplicarlas en un futuro en el campo, y disminuir en un 80% la contaminación por medio de la liberación de  $CO_2$

#### ***1.3.1 Objetivos específicos***

- ✓ Crear las concentraciones de hidróxido de sodio y silicato de sodio que afecten positivamente la resistencia a la compresión.
- ✓ Comparar los resultados.
- ✓ Análisis de pruebas y mediciones de geopolímero y cemento portland
- ✓ Aumentar la resistencia a la compresión

## 1.4 ANTECEDENTES

El cambio climático debido al calentamiento global se ha convertido en la principal preocupación. El calentamiento global es causado por los gases de efecto invernadero, tales como el dióxido de carbono a la atmósfera por las actividades humanas. Las industrias de quema de combustibles y cemento es considerado las principales fuentes de  $CO_2$  perjudiciales. Los esfuerzos se han realizado para el control y la disminución de  $CO_2$  que producen a partir de la quema de combustibles, y varios esfuerzos están en progreso para reducir el uso de cemento Portland como material de construcción con el fin de abordar el calentamiento global, y éstos incluyen la utilización de materiales de cementación suplementarios tales como cenizas volantes, humo de sílice, se granula escoria de alto horno, y el desarrollo de alternativas a los aglutinantes de cemento Portland.

Geopolímero es un término inventado por Joseph Davidovits para nombrar a polímeros sintéticos inorgánicos de aluminosilicatos que provienen de la reacción química más conocida como geopolimerización (Davidovits, 2015). En los últimos años, los investigadores han estudiado las propiedades del Geopolímero, que han mostrado buenos resultados cuando se considera como un reemplazo para el cemento Portland.

## CAPITULO II MARCO TEÓRICO

### 2.1. Cemento Portland

El Cemento Portland, es un conglomerante hidráulico, que en contacto con agua forma una pasta que fraguan y endurecen a causa de las reacciones de hidrólisis e hidratación de sus constituyentes, dando lugar a productos hidratados mecánicamente resistentes y estables tanto en el aire como bajo agua.

La creación de cemento Portland es el encargado de gran parte de la contaminación mundial, ya que ocupa mucha energía, contamina el agua y emite grandes cantidades de  $CO_2$ .

En este estudio se utilizó el cemento portland clase H, analizando sus concentraciones y características.

Elementos	Concentración (%)
<b>CaO</b>	65.72
<b>SiO<sub>2</sub></b>	20.36
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	6.19
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	3.17
<b>MgO</b>	1.32
<b>SO<sub>3</sub></b>	2.26
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0.43
<b>Otros</b>	0.55

*Tabla 1: Composición química del cemento portland*

## 2.2 Cenizas Volantes

Las cenizas volantes de Clase C se utilizaron para realizar el analizar en este estudio. La composición de las cenizas volantes se obtuvo de fluorescencia de rayos X.

En general, hay dos tipos de cenizas volantes: Clase C y Clase F. Según la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM), las diferencias entre estos dos tipos es la cantidad de óxido de calcio (CaO). Clase C tiene un mayor contenido de óxido de calcio (CaO) que la Clase F, por lo que las cenizas volantes de Clase C también se conoce como alta en calcio, mientras que las cenizas volantes de Clase F se conoce como una ceniza volante baja en calcio (ASTM, C618)

A continuación se muestra la composición de las cenizas volantes que se obtuvo a partir de la fluorescencia de rayos X (XRF). Según la Sociedad Estadounidense de Pruebas y Materiales ( ASTM C 618 ), la cantidad de dióxido de silicio (SiO<sub>2</sub>), óxido de aluminio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) y óxido de hierro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) debe ser superior al 50% en las cenizas volantes para clasificarlas como cenizas volantes de clase C.

Elementos	Concentración (%)
<b>CaO</b>	39.80
<b>SiO<sub>2</sub></b>	28.93
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	14.82
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	6.40
<b>MgO</b>	4.86
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	1.10
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0.56
<b>Otros</b>	2.63

Tabla 2: Composición química de las cenizas volantes



## 2.3 Geopolímeros

La palabra **geopolímero** se refiere en muchas ocasiones como un subconjunto de materiales activados alcalinamente. Las cenizas volantes con un bajo contenido en calcio y arcillas calcinadas (ej. metacaolin) son los precursores más comunes utilizados en la síntesis del geopolímero.

Los Geopolímeros, que son una nueva clase de materiales cerámicos considerados revolucionarios debido a sus ventajas técnicas y debido a que su producción ayuda al medioambiente.

Una de las principales ventajas que tiene este tipo de cemento son las propiedades mecánicas que tiene, como por ejemplo su resistencia a la compresión

## 2.4 Mezcla alcalina

### 2.4.1 *Hidróxido de sodio (NaOH)*

La pureza de hidróxido de sodio es 96%. Diferentes concentraciones se prepararon pesando de polvo seco. Este polvo se añadió hidróxido de sodio a una cierta cantidad de agua destilada y la mano se agitó hasta que se disolvió completamente. Después, se añadió agua adicional destilada hasta que se alcanzó la concentración deseada. Solución de hidróxido de sodio se mezcló con soluciones de silicato de sodio para las preparaciones geopolímero.

### 2.4.2 *Solución de silicato de sodio (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>)*

El silicato de sodio, también conocido como vidrio soluble, se obtuvo de PQ Corporation. El silicato de sodio es un material importante para proporcionar silicatos a la mezcla.

## 2.5 Fluido de Perforación

En este estudio, se utilizó lodo a base de agua. El fluido de perforación se preparó añadiendo bentonita al agua y dejándolo para prehidratación durante 24 h. Dado que la bentonita absorbe el agua cuando entra en contacto con ella. La hidratación previa se hizo para asegurar que toda la arcilla se absorbe completamente. Después de eso, se añadió la goma de xantano (XG) y se mezcla durante 10 min.

## **CAPITULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1 Metodología de la investigación**

Para investigar los efectos de los fluidos de perforación en geopolímero y Cemento Portland, se necesitan realizar diferentes pruebas como:

- Densidad
- Reología
- Pérdida de fluidos
- Resistencia a la compresión.

Utilizando varios tiempo de curado.

Se preparan los fluidos de perforación, las suspensiones de geopolímero se preparan y se mezclan con diferentes proporciones de fluidos de perforación, incluidos 0%, 5% y 10% en peso de cemento (BWOC). Estas proporciones de fluidos de perforación también se mezclan con lodos de cemento Portland para investigar los efectos de los fluidos de perforación en las propiedades del cemento Portland y para hacer una comparación entre el cemento Portland y el geopolímero. Todas las pruebas se deben realizar al menos tres veces para garantizar que todos los resultados sean precisos.

#### **3.2 Procedimientos**

##### ***3.2.1 Preparación de los Geopolímeros***

Todas las suspensiones de geopolímero se mezclaron a temperatura ambiente (24 ° C) y presión atmosférica. La mezcladora se llenó con el agua del grifo en primer lugar, después de eso, se añadió la clase de cenizas volantes C y se mezcló a baja velocidad durante 10 s. A continuación, se añadió la solución alcalina, que es una mezcla de silicato de sodio e hidróxido de sodio. Después de añadir la solución alcalina a la licuadora, se mezcló durante 10 s a baja velocidad y 30 s a alta velocidad. Esta suspensión se vertió en moldes cúbicos y se curó durante 24 h para ser utilizado en la medición de resistencia a la compresión. Inicialmente, treinta diferentes lotes de geopolímero se prepararon con diferentes proporciones de activador alcalino a las cenizas volantes (AA /FA), silicato de

sodio a hidróxido de sodio (SS / SH), y diferentes concentraciones de hidróxido de sodio. Tras un extenso análisis incluyendo resistencia a la compresión, reología, densidad, y la pérdida de líquidos; el geopolímero optimizado fue diseñado con una resistencia a la compresión razonable, 1,195 psi después de 24 h, reducir la pérdida de fluido, 93 ml después de 30 min, y el comportamiento reológico aceptable con una viscosidad de 50 cp (Ahdaya, 2019). Es importante que la lechada de cemento puede ser bombeado en el pozo después de que se mezcla en la superficie. El comportamiento reológico se considera aceptable cuando la lechada de cemento tiene la capacidad de ser bombeado durante la cementación de pozos de petróleo.

AA/FF	FA (g)	SS/SH	SH Solución(g)	SS Solución(g)
<b>0.2</b>	600	0.25	96	24
		0.5	80	40
		1	60	60
		2	40	80
<b>0.4</b>	600	0.25	192	48
		0.5	160	80
		1	120	120
		2	80	160
<b>0.8</b>	600	1	240	240

*Tabla 3: Muestra los diseños de mezcla que se investigaron en este estudio para diferentes concentraciones de hidróxido de sodio.*

AA/CV	CV	SS/HS	HS solución(g)	SS solución(g)
<b>0.4</b>	<b>600</b>	<b>1</b>	<b>60</b>	<b>60</b>

AA; Activador alcalino, CV; Cenizas Volantes, SS; Silicato de Sodio, HS; Hidróxido de Sodio

*Tabla 4: Diseño óptimo de Geopolímeros.*

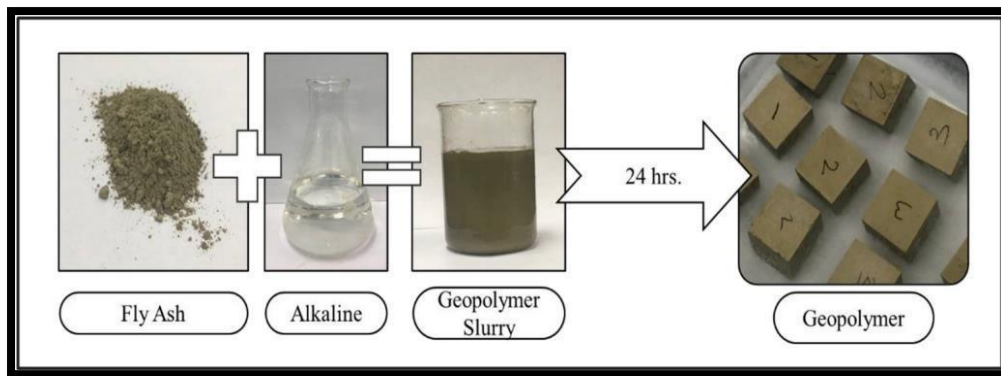


Figura 1: Reacción de cenizas volantes con activador alcalino para producir Geopolímeros

### 2.2.2 Preparación del cemento portland

El cemento Portland era mixto de acuerdo con las recomendaciones del API (API 10A especificación). Todas las lechadas de cemento Portland se mezclaron a temperatura ambiente y presión atmosférica. La mezcladora se llenó con el agua destilada y se comenzó la mezcla a baja velocidad durante 15 s. Durante los 15 s, se añadió el cemento seco a la licuadora. A continuación, el mezclador se cubrió y se continuó la mezcla durante 35 s a alta velocidad.

Un mezclador de baja velocidad se usa para mezclar los fluidos de perforación con las lechadas de cemento. 5 y 10 (%) en peso de cemento de los fluidos de perforación se añadió a las lechadas de cemento. El peso total de la suspensión después de añadir el porcentaje en peso de los fluidos de perforación se mantuvo similar al de la suspensión de referencia, que no contiene los fluidos de perforación, con el fin de comparar los resultados. Finalmente, se mezcló a baja velocidad, 400 rpm, durante 30 s

Tabla 5 muestra el diseño de Portland mezcla de cemento que se utilizó en este estudio

	Masa (% de peso de cemento)
<b>Cemento clase H</b>	100
<b>Agua destilada</b>	38

Tabla 5: Mezcla de cemento Portland

## 2.3 Mediciones y Pruebas.

### 2.3.1 Densidad y Reología

La reología se estudió debido a la importancia de comprender el comportamiento de los geopolímeros y cemento Portland en la interacción con los fluidos de perforación. Se estudió la densidad para investigar el impacto de la mezcla de los fluidos de perforación en las densidades de lodos. La densidad es importante porque proporciona una presión hidrostática como si la densidad de la lechada de cemento es baja, los fluidos de la formación, tales como gases podrían crear canales dentro del cemento. Alta densidad alta se aplicará presión sobre la formación que se romperá la formación. En cemento normal, el rango de densidad es del 14 al 17 lb / gal. La densidad se midió usando una balanza de lodo estándar. Una cantidad de la suspensión se vertió en la copa de la balanza de lodo y se obtuvo la lectura de la densidad. Después de eso, un viscosímetro OFITE se utilizó para obtener el comportamiento de reología para estas muestras. Todas las pruebas de reología y densidad se llevaron a cabo a presión atmosférica y temperatura ambiente (24 ° C). La viscosidad plástica (PV) es un factor importante para determinar la capacidad de flujo de cemento.



Figura 2: Viscosímetro OFITE

### ***2.3.2 Prueba Resistencia a la compresión***

Resistencia a la compresión es un factor importante para investigar la fuerza de los geopolímeros. En este estudio, la fuerza del geopolímeros y la fuerza de cemento Portland se ensayaron después de las suspensiones mezcladas con proporciones de diferentes fluidos de perforación. En primer lugar, todas las suspensiones espesas de geopolímeros se mezclaron a temperatura ambiente (24 ° C) y presión atmosférica. A continuación, las suspensiones espesas de geopolímeros se mezclaron con los fluidos de perforación a diferentes relaciones. La mezcla se vertió en 2 x 2 x 2 en. Moldes cúbicos y se colocó en un baño de agua para ser curado bajo presión atmosférica y 24 C para diferentes tiempo de curado (1 día, 3 días y 7 días). Después las suspensiones se dejaron durante el tiempo específico, que fue de 1, 3 o 7 días, las muestras cúbicas se retiraron de los moldes y se trituran usando una unidad de prensa hidráulica en condiciones ambientales. Procedimiento similar se realizó para el cemento Portland



*Figura 3: Unidad de prensa Hidráulica.*

### 2.3.3 Prueba de la pérdida de líquidos

Prueba de la pérdida de líquidos es importante para entender la cantidad de agua que se pierde en la formación durante la operación de cementación; en otras palabras, para poner a prueba la capacidad de cemento para retener el agua. En este estudio, la pérdida de fluido se midió mediante una célula de baja presión, filtrado a baja temperatura a 100 psi, y la temperatura ambiente (24 ° C). Las suspensiones de geopolímeros se prepararon y se mezcla con los fluidos de perforación y se vertieron en la célula. La celda se presurizó a 100 psi usando presión de aire. La medida fue tomada cada 1 min, para la exactitud, durante 30 min o hasta que el agua se detuvo, siguiendo las recomendaciones de la API. Si el tiempo no alcanzó 30 min, la siguiente ecuación se utilizó para obtener el volumen de pérdida de fluido.

$$\text{Pérdida de fluido API} = 2V_t \sqrt{\frac{30}{t}}$$

Donde  $V_t$  es el volumen de filtrado a los golpes de aire a través de tiempo, en ml, y  $t$  es el tiempo transcurrido, en minutos.



Figura 4: Celda de Filtrado

## CAPITULO IV

### INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 Resultados de la medición de densidad

La mezcla de los fluidos de perforación con lechadas de cemento no afectó la densidad significativamente tanto en los materiales, geopolímero y cemento Portland. La Fig. 5 muestra las densidades de geopolímero y cemento Portland con diferentes proporciones de los fluidos de perforación. A medida que aumentaba el porcentaje en peso fluidos de perforación de la densidad se redujo ligeramente. Sin embargo, toda la densidad suspensiones estaban dentro de la gama de 14-17 lb / gal, que todavía se considera cemento normal. Densidad de la suspensión de referencia fue de 14,7 lb / gal en comparación con 14,3 lb / gal cuando se añadió 10 por ciento de fluido de perforación en peso. El ligero descenso que ha pasado a la densidad se debe a la adición del fluido de perforación que tiene una densidad inferior en comparación con el geopolímero y lechadas de cemento Portland.

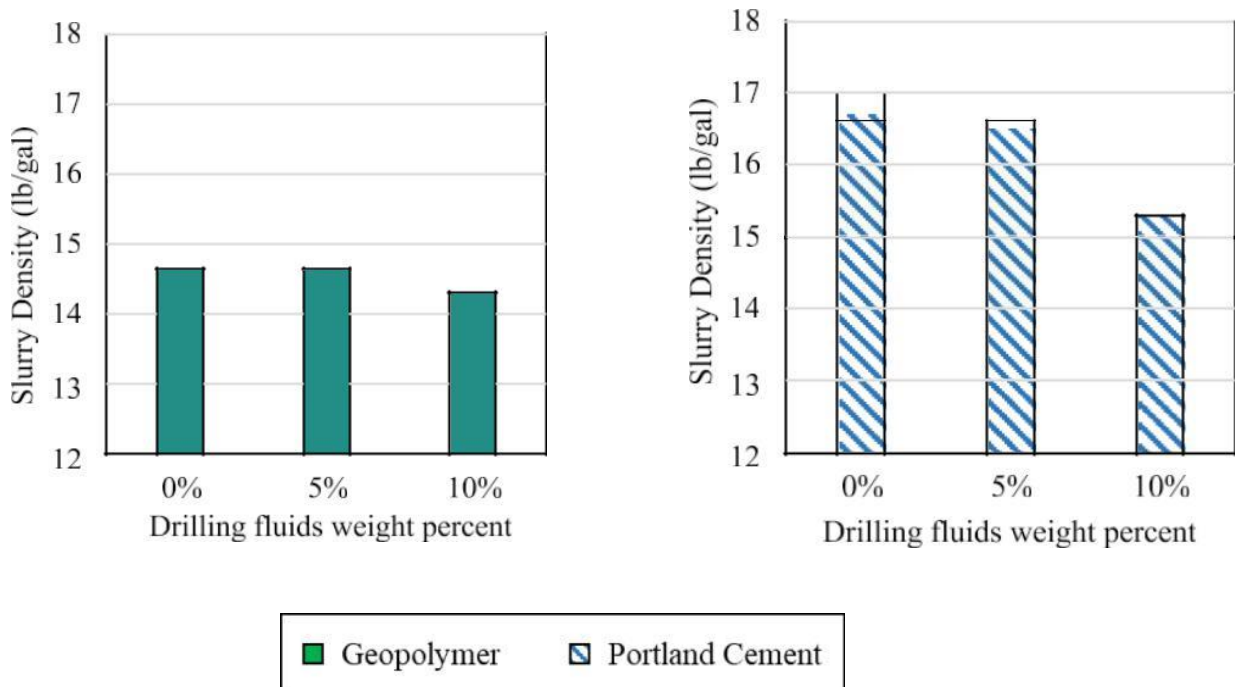


Tabla 6: Densidades de geopolímero y cemento Portland después de agregar lodo a base de agua.



## 4.2 Resultados de Reología.

La viscosidad es importante durante los procesos de bombeo. La disminución de viscosidad facilitará el proceso de bombeo y también reducir el costo de las operaciones de bombeo debido a la potencia de la bomba inferior necesaria para bombear la suspensión de menor viscosidad. Los resultados de la prueba de reología demostraron que la mezcla de los fluidos de perforación con geopolímeros disminuyó su viscosidad, que aumenta la facilidad de trabajo. Por ejemplo, aumentando el porcentaje en peso del fluido de perforación del 5 al 10 dando lugar a la disminución de la viscosidad plástica 49 a 48 cp. Sin embargo, el aumento en la cantidad de los fluidos de perforación resultó en un incremento en la viscosidad de las lechadas de cemento Portland. El aumento en la viscosidad podría afectar a la capacidad de bombeo de lechadas de cemento, que es la capacidad de inyectar la suspensión en el pozo. Cuando la suspensión es demasiado viscosa, su capacidad de bombeo se verá afectada negativamente. Puesto que la temperatura es un factor importante que puede afectar el comportamiento reológico.

El efecto de la perforación de fluido sobre geopolímeros mejora el comportamiento reológico por la disminución de la viscosidad de la suspensión. Sin embargo, la mezcla de los fluidos de perforación con cemento Portland tiene efectos negativos sobre el comportamiento reológico de cemento Portland; que aumenta la viscosidad y hace que la suspensión sea muy espesa que podrían causar muchos problemas durante las operaciones de cementación.

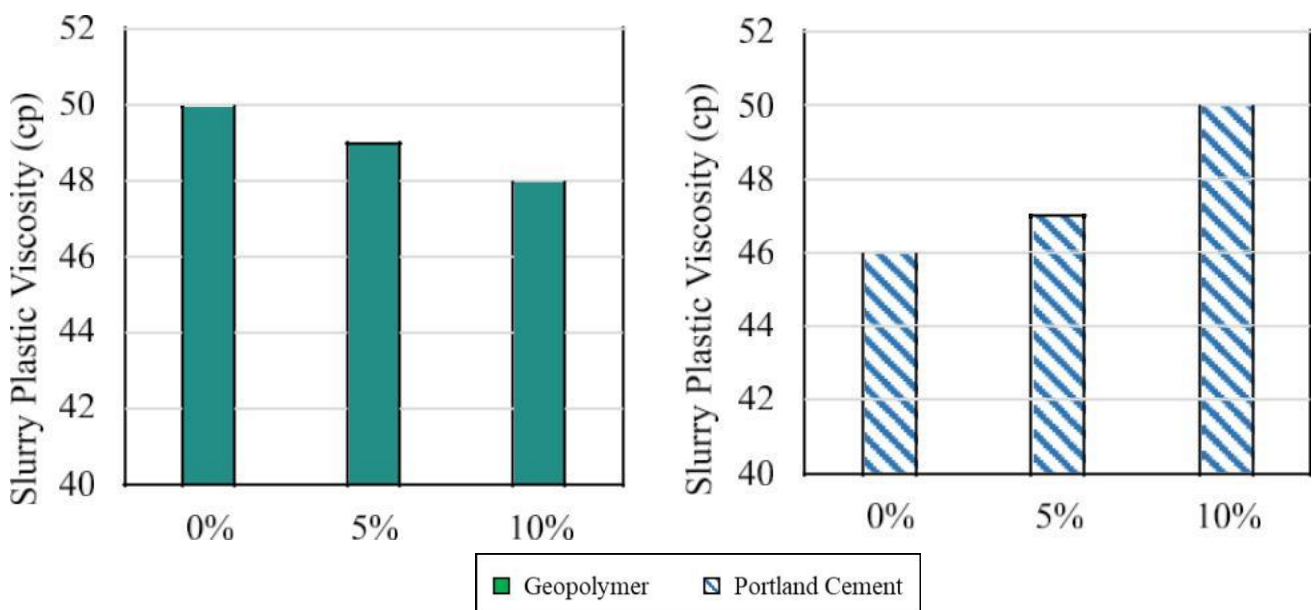


Tabla 7: Viscosidades de geopolímero y cemento Portland utilizando diferentes porcentajes en peso de lodo a base de agua

### 4.3 Los resultados de resistencia a compresión

La Figura mostrar resistencia a la compresión de geopolímeros y cemento Portland después de 1, 3 y 7 días. Los resultados de laboratorio mostraron que el tiempo de curado afecta positivamente a la resistencia a la compresión. Todas las pruebas de resistencia a la compresión se realizaron al menos tres veces. Por ejemplo, para geopolímeros con 5 % de fluidos de perforación en peso, la resistencia a la compresión después de 3 días eran 2,114, 2155, y 2128 psi, y el promedio era de 2132 psi. Los resultados obtenidos mostraron que los geopolímeros tiene resistencia temprana en comparación con cemento Portland, 1195 y 717 psi, respectivamente. Sin embargo, con el tiempo, la resistencia a la compresión geopolímeros aumentó a una tasa más baja en comparación con el cemento Portland. Después de 3 y 7 días, cemento Portland tenía mayor resistencia a la compresión, 3441 y 4610 psi, respectivamente, en comparación con 2.330 y 3.085 psi de fuerza geopolímeros. Cuando el cemento se bombea al pozo, se necesita tiempo para ganar suficiente fuerza para continuar la perforación de la siguiente sección. Dado que uno de los principales factores que afectan en el tiempo de cemento es el desarrollo de la resistencia a la compresión. Por lo que la ventaja más beneficiosa de la resistencia inicial es reducir la espera en el tiempo de cemento.

Curiosamente, después de la mezcla geopolímeros con fluido de perforación, la resistencia a la compresión de geopolímeros todavía se mantuvo alta. Los resultados obtenidos mostró que la contaminación del fluido de perforación tiene menos impacto sobre la fuerza geopolímeros, que disminuyó desde 1195 hasta 935 psi después de tiempo de curado de un día. En la mayoría de los casos, la resistencia a la compresión debe ser de al menos 500 psi para continuar la perforación de la siguiente sección.

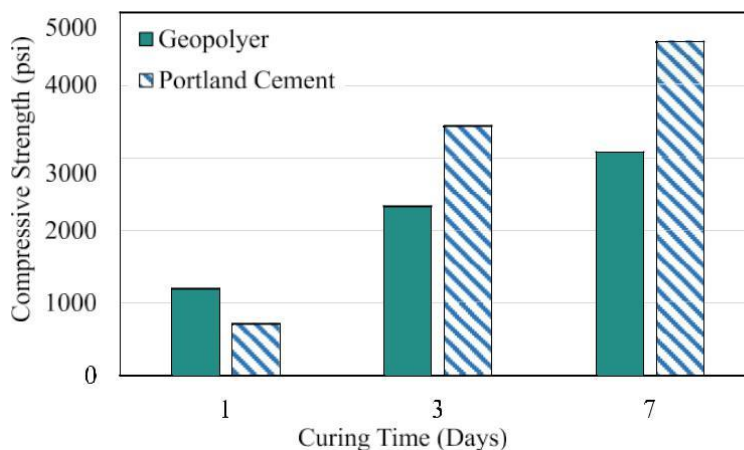


Tabla 8: Resistencia a la compresión del geopolímero y cemento Portland después de 1, 3 y 7 días para lechadas de referencia.

Esto indica que la resistencia a compresión geopolímeros es aún más que el límite de 500 psi en el campo de petróleo. El cemento Portland sin embargo pierde un gran porcentaje de su resistencia a la compresión cuando se mezcla con el mismo porcentaje en peso de los fluidos de perforación. La figura muestra los resultados de resistencia a la compresión para geopolímeros y cemento Portland después de 1, 3, y 7 días usando 10 por ciento en peso de fluido de perforación. Cuando las suspensiones espesas se mezclaron con los fluidos de perforación, los resultados obtenidos mostraron que geopolímeros tiene mayor resistencia a la compresión en comparación con el cemento Portland. Después de un tiempo de curado de un día, la fuerza del geopolímeros era 935 psi en comparación con 476 psi de resistencia del cemento Portland. Esto es una indicación de que el geopolímero es mucho más compatible con los fluidos de perforación en comparación con Portland, y por lo tanto los geopolímeros se pueden considerar una alternativa mejor que el cemento Portland.

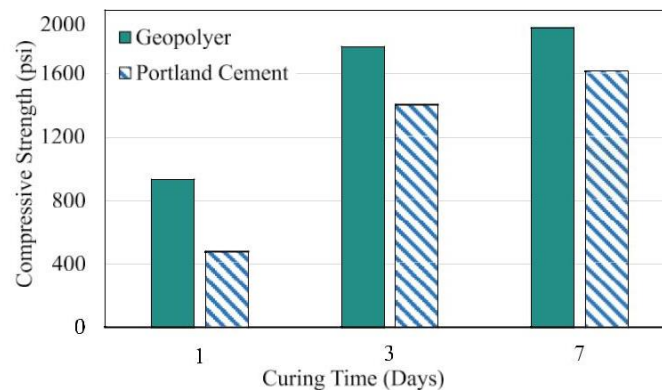


Tabla 9: Resistencia a la compresión del geopolímero y cemento Portland después de 1, 3 y 7 días usando 10 por ciento en peso de fluido de perforación.

#### 4.4 Resultados de la prueba de pérdida de fluidos

Las propiedades del cemento puede ser fuertemente afectados por la pérdida de fluido, lo que aumentará la posibilidad de tener grietas y canales dentro del cemento. La Figura muestra la pérdida de líquidos con diferentes fluidos de perforación por ciento en peso. Las pruebas de pérdida de fluido se repitieron tres veces para asegurar la exactitud de los resultados. Por ejemplo, para geopolímeros con 10% de fluidos de perforación en peso, la pérdida de fluido eran 77,3, 83,3, y 79,2 ml después de 30 min, y el promedio fue de

79.96 ml después de 30 min. Los resultados obtenidos mostraron que las concentraciones de fluidos son inversamente proporcional a la pérdida de fluidos. A medida que aumenta el porcentaje en peso del fluido de perforación, disminuye la pérdida de fluido geopolímero. La lechada de referencia de geopolímeros tenía 93 ml de pérdida de fluido después de 30 min en comparación con sólo 80 ml de pérdida de fluido después de 30 min, cuando se añadió 10% en peso de fluido de perforación. Estos resultados implican que los fluidos de perforación pueden trabajar como aditivos de pérdida de fluido a geopolímeros. La reducción en la pérdida de líquido puede ser debido a los fluidos de perforación que contienen bentonita que contienen aluminio y silicato. El aluminio y silicato fueron inducidos por el hidróxido de sodio durante el proceso de polimerización. Los silicatos reaccionan con el aluminio (Al) y forma geles de aluminio-silicato que podría ayudar a reducir la pérdida de fluido.

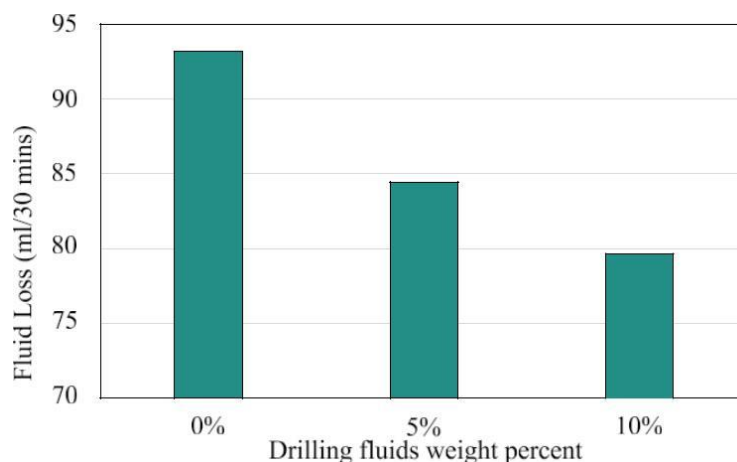


Tabla 10: Pérdida de fluido geopolímero con diferentes porcentajes en peso de fluidos de perforación

Sin embargo, la mezcla de fluidos de perforación con cemento Portland resultó en un aumento significativo en la pérdida de fluidos. La figura muestra la pérdida de fluido de cemento Portland con diferentes porcentajes en peso de fluidos de perforación. El aumento del porcentaje en peso de los fluidos de perforación conduce a una gran pérdida de fluido debido al agua que se introdujo en la mezcla por los fluidos de perforación. Cuando el porcentaje en peso del fluido de perforación aumentó de 5 a 10, la pérdida de fluido de cemento Portland aumentó de 438 a 520 ml / 30 min. Dado que el fluido de perforación fue prehidratado, la bentonita ha absorbido completamente el agua. Esto significa que la adición de fluidos de perforación a la lechada de cemento Portland resultó en la adición de más agua a la mezcla, lo que aumentó la cantidad de pérdida de fluidos.

## Tipos de Mezclas

- Fluido de perforación
- Cemento portland
- Geopolímero

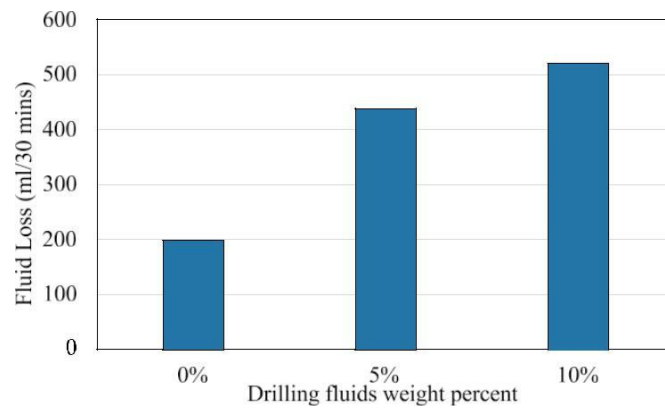


Tabla 11: Pérdida de fluido de cemento Portland con diferentes porcentajes en peso de fluidos de perforación.

## CONCLUSIONES

En este estudio se investigaron las contaminaciones de los fluidos de perforación con geopolímeros y lechadas de cemento Portland. Se llevó a cabo un intenso trabajo de laboratorio mediante el estudio de la reología, la densidad, la resistencia a la compresión y la pérdida de fluidos para el geopolímero y el cemento Portland. Con base en los resultados obtenidos, se encontró que el geopolímero resistía la contaminación del fluido de perforación.

- Se observó una ligera disminución en la densidad de las lechadas de cemento cuando se mezclaron con fluidos de perforación en ambos materiales, geopolímero y cemento Portland.
- La mezcla de fluidos de perforación con lechada de geopolímero mejoró su viscosidad al disminuirla, por lo tanto, los fluidos de perforación podrían mejorar la inyektividad del geopolímero.
- Mientras que la mezcla de los fluidos de perforación con lechada de cemento Portland aumentó la viscosidad de la lechada.
- Las concentraciones de los fluidos de perforación son inversamente proporcionales a la viscosidad de la lechada de geopolímero.
- Sin embargo, el aumento de la cantidad de fluido de perforación en la lechada de cemento Portland resultó en un aumento en la viscosidad de la lechada de cemento.
- El geopolímero mostró una mayor resistencia a la compresión cuando se expuso a fluidos de perforación en comparación con el cemento Portland.
- El volumen de pérdida de fluido geopolímero se redujo cuando se introdujo fluido de perforación en la mezcla.

## **RECOMENDACIONES**

De acuerdo al trabajo realizado, se debería hacer un estudio más a fondo sobre el tema, ya que hace falta más pruebas que realizar, sería muy interesante ya que existe la posibilidad de ser aplicado, y ayudaría como una reemplazo más económico y que aporta a nuestro medio ambiente reduciendo la contaminación en un alto porcentaje, y para ello se necesitaría contar con un laboratorio que tenga las máquinas y herramientas necesarias para dichas pruebas y mediciones.

Se recomienda hacer cada prueba como mínimo 3 veces o más, si es necesario, esto para corroborar datos y obtener un promedio del mismo.

Utilizar las herramientas adecuadas para cada prueba y medición.

## **BIBLIOGRAFIA**

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0920410519304504>

[https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-50732017000200001](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50732017000200001)

<https://onepetro.org/IPTCONF/proceedings-abstract/19IPTC/2-19IPTC/D021S046R006/154233>

[www.researchgate.net/publication/265076752\\_Geopolymer\\_Chemistry\\_and\\_Applications](http://www.researchgate.net/publication/265076752_Geopolymer_Chemistry_and_Applications)

[www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?C618-19](http://www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?C618-19)

[ASTM C 618, Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete, 100 Barr Harbour Dr. P.O. box C-700 West Conshohocken, Pennsylvania United States](#)

[Ahdaya, M., Imqam, A., Jani, P., Fakher, S., ElGawady, M., 2019. New formulation of fly ash class C based geopolymer for oil well cementing. In: Paper IPTC-19393 Accepted to Present at the 11th International Petroleum Technology Conference, Beijing, China, 26 – 28 March. Al-Bakari, A.M., Kareem, A.,](#)