

**EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO EN LOS TIEMPOS DE FRAGUADO DE LA
LECHADA STEP A BASE DE NANOTECNOLOGÍA EN LA SECCIÓN DE 9 5/8”
EN EL CAMPO GUANDO A NIVEL DE LABORATORIO**

**DAYANNA PAOLA FAJARDO CENDALES
YURANY STEFANY PINILLA MUÑOZ**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BOGOTÁ
2020**

**EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO EN LOS TIEMPOS DE FRAGUADO DE LA
LECHADA STEP A BASE DE NANOTECNOLOGÍA EN LA SECCIÓN DE 9 5/8”
EN EL CAMPO GUANDO A NIVEL DE LABORATORIO**

**DAYANNA PAOLA FAJARDO CENDALES
YURANY STEFANY PINILLA MUÑOZ**

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

**Director
JUAN EVANGELISTA SÁNCHEZ NIÑO
Ingeniero de Petróleos**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BOGOTÁ
2020**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Jurado 1

Jurado 2

Bogotá, D.C. junio de 2020

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD DE AMÉRICA

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. MARIO POSADA GARCÍA-PEÑA

Consejero Institucional

Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA

Vicerrectoría Académica y de Investigaciones

Dra. MARÍA CLAUDIA APONTE GONZÁLEZ

Vicerrector Administrativo Financiero

Dr. RICARDO ALFONSO PEÑARANDA CASTRO

Secretaria General

Dra. ALEXANDRA MEJÍA GUZMÁN

Decano de la Facultad de Ingenierías

Ing. JULIO CESAR FUENTES ARISMENDI

Director del Programa de Ingeniería de Petróleos

Ing. JUAN CARLOS RODRÍGUEZ ESPARZA

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

Este trabajo va dedicado principalmente a Dios quien ha guiado mis caminos me llena de sabiduría y fortaleza quien realiza todos mis proyectos satisfactoriamente, a mis padres por su apoyo incondicional, a mi padrastro quien siempre me creído en mí de una forma real y me ha brindado su entera confianza durante toda mi carrera, al Adm. Juan Carlos Sánchez quien fue la persona quien me abrió las puertas de su empresa para la realización de este trabajo y por último al ingeniero Rafael Delgado quien amablemente estuvo pendiente de este proyecto.

Yurani Stefany Pinilla Muñoz

Primeramente, quiero darle gracias a Dios por permitirme cumplir este sueño, a mis padres por su esfuerzo, dedicación y sabios consejos para no desfallecer ante las adversidades, a mi hermana por creer en mí y ser mi única amiga y apoyo incondicional y por último al Ingeniero Jorge Tovar por su disposición y tiempo para poder hacer de este proyecto una realidad.

Dayanna Paola Fajardo Cendales.

AGRADECIMIENTOS

Los autores del presente Trabajo de Grado expresan sus más sinceros agradecimientos a todas las personas que brindaron su entero apoyo para la realización de este proyecto.

A Holsan S.A.S., por abrirnos las puertas de su empresa, en especial al Adm. Juan Carlos Sánchez por su apoyo, tiempo y dedicación durante la realización del Trabajo de Grado.

A la Fundación Universidad de América por brindarnos toda la orientación investigativa y técnica en la correcta realización del proyecto y permitir por medio de sus maestros adquirir conocimiento que influya en el desarrollo del mismo.

A nuestros orientadores, por brindarnos su conocimiento y experiencia, con el fin de instruirnos satisfactoriamente hacia la excelencia del presente Trabajo de Grado y vida profesional.

CONTENIDO

	pág
INTRODUCCIÓN	25
1. MARCO TEÓRICO	28
1.1 CEMENTACIÓN	28
1.1.1 Cementación Primaria.	29
1.2 CEMENTACIÓN REMEDIAL	31
1.3 CEMENTO	31
1.3.1 Aditivos.	31
1.3.2 Tiempo de fraguado.	32
1.4 PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE UNA LECHADA DE CEMENTACIÓN	32
1.4.1 Densidad.	32
1.4.2 Resistencia a la compresión.	33
1.4.3 Tiempo de espesamiento o bombeabilidad.	33
1.4.4 Agua libre.	33
1.4.5 Pérdida de fluido.	34
1.4.6 Propiedades reológicas.	34
1.5 NORMA ASTM C-150	34
1.6 LECHADA A BASE DE NANOTECNOLOGÍA EMPLEADA EN EE.UU (SMARTSET)	35
1.6.1 Aplicaciones de la lechada SmartSet	35
1.6.2 Beneficios de la lechada SmartSet	36
1.7 EQUIPOS PARA EL CÁLCULO DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE UNA LECHADA A NIVEL LABORATORIO	36
1.7.1 Mezclador (Mixer)	36
1.7.2 Balanza Presurizada	37
1.7.3 SGSA. Ensayo no destructivo	38
1.7.4 Consistómetro presurizado	39
1.7.5 Fluid Loss	40
1.7.6 Viscosímetro Rotacional	41
1.7.7 Consistómetro atmosférico	42
1.8 DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE FRAGUADO	43

2. METODOLOGÍA Y DATOS	45
2.1 ESTADO MECÁNICO DEL CAMPO GUANDO	46
2.2 DATOS SUMINISTRADOS POR LA PRESTADORA DE SERVICIOS PARA LA LECHADA CONVENCIONAL	48
2.2.1 Composición química de la lechada convencional	48
2.2.2 Datos de densidad	49
2.2.3 Datos de Resistencia a la compresión	49
2.2.4. Datos de tiempo de bombeabilidad o tiempo de espesamiento	50
2.2.5 Datos de agua libre	50
2.2.6 Datos de pérdida de fluido	51
2.2.7 Datos de propiedades Reologicas	51
2.3 EVALUACIÓN EXPERIMENTAL	51
2.3.1 Densidad de la lechada	52
2.3.2 Resistencia a la compresión	53
2.3.3 Bombeabilidad o tiempo de espesamiento	54
2.3.4 Agua libre	55
2.3.5 Pérdida de fluido	56
2.3.6 Propiedades reológicas	57
2.4 EVALUACIÓN COMPARATIVA	59
2.5 EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO	60
2.6 EVALUACION ECONOMICA	61
2.6.1 Costos operacionales	61
3. RESULTADOS Y ANALISIS	63
3.1 RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS FISICOQUÍMICAS	63
3.1.1 Datos de densidad	63
3.1.2 Datos de Resistencia a la compresión	64
3.1.3 Datos de tiempo de bombeabilidad o tiempo de espesamiento	67
3.1.4 Datos de agua libre	70
3.1.5 Datos de pérdida de fluido	71
3.1.6 Datos de propiedades Reologicas	72
3.2 EVALUACIÓN FINANCIERA MEDIANTE EL INDICADOR COSTO-BENEFICIO.	76
3.2.1 Cantidad de lechada Step a cementar en el Campo Guando.	76
3.2.2 Costos de equipos en superficie para la cementación de la	

sección de 9 5/8" en Campo Guando.	78
3.2.3 Costo de equipos de fondo para cementación de la sección 9 5/8" en Campo Guando	79
3.2.4 Costo del personal para la cementación de la sección 9 5/8" en Campo Guando	80
3.2.5 Costo del alquiler de laboratorio empleado en la realización de las pruebas fisicoquímicas para la cementación de la sección 9 5/8" en Campo Guando.	81
4. CONCLUSIONES	86
5. RECOMENDACIONES	87
BIBLIOGRAFÍA	88
ANEXOS	62

LISTA DE FIGURAS

	pág
Figura 1. Cementación y tipos de cementación	29
Figura 2. Mixer	37
Figura 3. Balanza presurizada	38
Figura 4. SGSA	39
Figura 5. Consistómetro presurizado	40
Figura 6. Fluid Loss	41
Figura 7. Viscosímetro Rotacional	42
Figura 8. Consistómetro atmosférico	43
Figura 9. Método de Vicat	44
Figura 10. Estado mecánico del pozo Guando SW 15 para la sección de 9 5/8” del Campo Guando.	47
Figura 11. Procedimiento para determinar la Densidad de la Lechada.	52
Figura 12. Procedimiento para determinar la Resistencia a la Compresión.	53
Figura 13. Procedimiento para determinar la bombeabilidad o tiempo de espesamiento.	54
Figura 14. Procedimiento para determinar el agua libre	55
Figura 15. Procedimiento para determinar la Pérdida de Fluido.	57
Figura 16. Procedimiento para determinar las propiedades reológicas	59

LISTA DE CUADROS

	pág
Cuadro 1. Aplicaciones de la lechada SmartSet.	35
Cuadro 2. Etapas para comparar y evaluar el desempeño de la lechada Step con la lechada convencional en el tiempo de fraguado.	46
Cuadro 3. Valores de las propiedades fisicoquímicas que debe cumplir la lechada convencional para ser empleada en la sección de 9 5/8" del Campo Guando.	47
Cuadro 4. Evaluación comparativa de cada prueba fisicoquímica.	60
Cuadro 5. Rangos óptimos para una lechada apta.	60
Cuadro 6. Rangos óptimos para una lechada apta, propiedad de Reología.	61
Cuadro 7. Rango óptimo de la viscosidad plástica, propiedad de Reología.	61
Cuadro 8. Análisis sobre la viabilidad técnico para la implementación de la lechada Step.	78

LISTA DE TABLAS

	pág
Tabla 1. Aceleradores y Retardadores más comunes en la Industria Petrolera.	32
Tabla 2. Extendedores y Densificantes más comunes en la Industria Petrolera.	33
Tabla 3. Composición de la lechada convencional (Lead Slurry).	48
Tabla 4. Composición de la lechada convencional (Tail Slurry).	48
Tabla 5. Datos de Densidad para la lechada convencional.	49
Tabla 6. Resistencia a la compresión/8 horas.	49
Tabla 7. Resistencia a la compresión/12 horas.	49
Tabla 8. Resistencia a la compresión/ 24 horas.	50
Tabla 9. Tiempo de espesamiento.	50
Tabla 10. Propiedades de la lechada: Agua libre.	50
Tabla 11. Pérdida de Fluido.	51
Tabla 12. Perfil reologico (Lechada convencional Lead).	51
Tabla 13. Perfil reologico (Lechada convencional Tail).	51
Tabla 14. Datos de Densidad.	63
Tabla 15. Resistencia a la compresión/8 horas.	65
Tabla 16. Resistencia a la compresión/12 horas.	65
Tabla 17. Resistencia a la compresión/ 24 horas.	65
Tabla 18. Tiempo de espesamiento para lechada Step.	67
Tabla 19. Tiempo de espesamiento para lechada convencional.	68
Tabla 20. Agua libre.	70
Tabla 21. Pérdida de Fluido.	71
Tabla 22. Perfil reologico (Lechada Step).	73
Tabla 23. Perfil reologico (Lechada convencional).	73
Tabla 24. Modelo reologico (Lechada Step).	73
Tabla 25. Modelo reologico (Lechada convencional).	73
Tabla 26. Costo de la lechada convencional y la lechada Step.	78
Tabla 27. Costos de equipos de superficie para la cementación de la sección 9 5/8" en Campo Guando.	79
Tabla 28. Costo de equipos de fondo para cementación de la sección 9 5/8" en Campo Guando.	80
Tabla 29. Costo del personal para la cementación de la sección 9 5/8" en Campo Guando.	81
Tabla 30. Costo de pruebas fisicoquímicas en el laboratorio.	82
Tabla 31. Costo total para Lechada Step.	83
Tabla 32. Costo total para Lechada convencional.	83
Tabla 33. Relación beneficio-costo para la lechada Step. ¡Error! Marcador no definido.	no
Tabla 34. Relación beneficio-costo para la lechada convencional.	85

LISTA DE GRÁFICAS

	pág
Gráfica 1. Comportamiento de la densidad de la lechada Step y la lechada convencional.	64
Gráfica 2. Resistencia a la compresión para la lechada Step.	66
Gráfica 3. Resistencia a la compresión para la lechada Convencional.	67
Gráfica 4. Tiempo de espesamiento para la lechada Step.	68
Gráfica 5. Tiempo de espesamiento para la lechada convencional.	69
Gráfica 6. Porcentaje de agua libre.	70
Gráfica 7. Pérdida de fluido para la lechada Step.	72
Gráfica 8. Viscosidad plástica.	74

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Ecuación de Viscosidad Plástica.	pág 58
Ecuación 2. Ecuación de Punto Cedente (Yield Point).	58
Ecuación 3. Fórmula de relación costo-beneficio.	62

ABREVIATURAS

ACI	Instituto Americano de concreto (American concrete institute)
API	Instituto Americano del Petróleo (American Petroleum Institute)
ASTM	Sociedad Americana de pruebas y materiales (American Society for Testing and Materials).
ASTM A105	Forging, carbon Steel, for piping components.
ASTM C105	Specification for Ground Fire Clay as a refractory mortar for laying-up Fireclay Brick
ASTM C150	Standard especificación for portland cement
BHA	Conjunto de fondo
BHT	Temperatura de fondo
CSA	Canadian standards Association
CP	Centipoise
DGAA	Dirección general de Asuntos Ambientales
DGH	Dirección general de Hidrocarburos
DREM	Dirección Regional de Energías y Minas
EIA	Estudio de impacto Ambiental
GPM	Galones por minuto
HSE	Salud seguridad y medio Ambiente
ISA	Sociedad Americana de Instrumentación
ISO	International Organización for Estandarización
NBS	Agencia de Estándares Nacionales
P	Presión en Psi
PAMA	Programa de Adecuación y Manejo Ambiental
Pf	Presión de formación
PV	Viscosidad plástica
Rc	Resistencia a la compresión
SGSA	Equipo para ensayo no destructivo
RBC	Relación beneficio costo
TD	Profundidad total
Tf	Tiempo de fraguado
TIO	Tasa Interna de Oportunidad
V	Viscosidad en Cp.
VPN	Valor presente neto
Yp	Punto Cedente

GLOSARIO

ADITIVO¹: sustancia que se agrega a otra y al mezclarlas demuestra el efecto deseado.

AMBIENTE DE DEPOSITACIÓN: área de la superficie terrestre donde se acumulan sedimentos. Se caracteriza por una combinación particular de procesos geológicos (procesos sedimentarios) y condiciones ambientales (físicas, químicas y biológicas).

ANULAR: es el espacio que hay entre la formación y la tubería.

BOMBEABILIDAD: es la capacidad de la lechada de ser bombeada, generalmente se mide en el ensayo de tiempo de espesamiento API.

CAMPO: referencia geográfica para la acumulación o grupo de acumulaciones de petróleo en el subsuelo. Un campo de petróleo está formado por un yacimiento con una forma adecuada para el entrapamiento de hidrocarburos, que se encuentra cubierto por una roca impermeable o una roca que actúa como sello. Habitualmente, el término alude a un tamaño económico.

CEMENTACIÓN²: en la Exploración y Explotación, es la técnica por la cual se prepara, bombea y ubica una mezcla de cemento y aditivos dentro del Pozo, con fines de fijar la tubería, crear un aislamiento, reparar o abandonar zonas o el Pozo.

COMPLETACIÓN: en la Explotación de Hidrocarburos, se realiza este trabajo seguido de la perforación para colocar el pozo en estado óptimo para la producción.

CONTAMINACION³: introducir sustancias a diferentes ambientes donde se puede ocasionar actos inseguros.

FLUIDO LIBRE⁴: liquido de la lechada que se separa bajo condiciones estáticas.

FORMACIÓN: término empleado para designar una serie de depósitos de distinta naturaleza cuya facies son características del medio en la que se efectúan (formaciones marinas, continentales, etc.). También conocida como un conjunto heterogéneo de capas sedimentarias, estructuradas o no, depositadas en un mismo lugar durante un período.

¹ SCHLUMBERGER, Oilfield Glossary, aditivo de cementación

² SCHLUMBERGER, Oilfield Glossary, cementación.

³ Ecologiahoy, Contaminación. [En línea]. Disponible en:
<https://www.ecologiahoy.com/contaminacion>

⁴ SCHLUMBERGER, Oilfield Glossary, fluid water

FRAGUADO⁵: se suspenden las operaciones de perforación mientras se deja que las lechadas de cemento se solidifiquen y sean resistentes a la compresión.

NANOTECNOLOGÍA: término que se usa para definir las ciencias tecnológicas que se aplican a un nivel de nanoescala permite trabajar en la manipulación de átomos y moléculas en posibilidad de fabricar materiales.

POZO: perforación para el proceso de búsqueda o producción de petróleo crudo gas natural o para proporcionar servicios relacionados con los mismos. Los pozos se clasifican de acuerdo a su objetivo y resultado como: pozos de aceite y gas asociado, pozos de gas seco y pozos inyectoros.

PRESIÓN DE FORMACIÓN: es la presión que se encuentra en los poros por un fluido, normalmente es la presión que se ejerce por una columna de agua de la profundidad de la formación hasta el nivel del mar.

RECORTES: es un conjunto de fracciones de roca presentadas durante la perforación, se generan por la fricción y movimiento de la broca contra los cuerpos rocosos del subsuelo. Son de vital importancia como elemento de control y corroboración litológica de los registros eléctricos obtenidos de pozos aledaños con los cuales supervisar el desempeño de las operaciones.

REOLOGÍA⁶: hace referencia al estudio de la manera en que se deforma y fluye la materia; incluye la elasticidad, plasticidad y viscosidad. En geología, es particularmente importante en los estudios del movimiento de los hielos, el agua, la sal y el magma, y en los estudios de rocas en proceso de deformación.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN: es la capacidad que la lechada tiene cuando se fragua para soportar una carga por unidad de área y se expresa generalmente en términos de esfuerzo, se estiman para comprobar la calidad del concreto y para la protección de la estructura suministrada.

SUBSIDENCIA: el hundimiento relativo de la superficie terrestre. La actividad tectónica de las placas (especialmente la extensión de la corteza, que favorece el adelgazamiento y el hundimiento), la carga de sedimentos y la remoción del fluido de los yacimientos son procesos por los cuales la corteza puede deprimirse. La subsidencia puede generar zonas en las que los sedimentos se acumulan y finalmente forman cuencas sedimentarias.

⁵ SCHLUMBERGER, Oilfield Glossary, fraguado.

⁶ 5 SCHLUMBERGER, Oilfield Glossary, Reología

TASA INTERNA DE OPORTUNIDAD: es la tasa de retorno de la inversión que se aplica al cálculo del valor presente.

TIXOTROPÍA⁷: la capacidad de un fluido para formar una estructura gelificada cuando no está sujeto a cizalladura y luego cuando se agita se fluidifica.

TIEMPO DE FRAGUADO: es el tiempo en el que la mezcla cemento- agua se seca y pasa de estado líquido a estado sólido soportando altas presiones y respaldando fuertes estructuras.

TIEMPOS NO PRODUCTIVOS: tiempo no planeado utilizado para reparar problemas en las operaciones, este tiempo genera retrasos en la operación y aumento de gastos por parte de las empresas involucradas.

VISCOSIDAD⁸: describe la resistencia de una sustancia a fluir. Un fluido de perforación con alta viscosidad se dice que está "viscoso o espeso", mientras que si tiene baja viscosidad se caracteriza como "disperso".

ZAPATA DE FLOTACIÓN⁹: es un componente de perfil redondeado fijado en el extremo del pozo de la sarta de revestimiento esta impide el flujo inverso de la lechada de cemento desde el espacio anular hacia el interior de la tubería de revestimiento.

⁷ SCHLUMBERGER, Oilfield Glossary, trixotropia.

⁸ SCHLUMBERGER, Oilfield Glossary, Viscosidad.

⁹ SCHLUMBERGER, Oilfield Glossary, zapato flotador.

RESUMEN

En este proyecto de grado se realizó la evaluación de diferentes pruebas fisicoquímicas con el fin de determinar las propiedades de una lechada formulada con polvos orgánicos no tóxicos a base de nanotecnología, siendo estas, la densidad de la lechada mediante el uso de una balanza presurizada, la resistencia a la compresión por medio del equipo SGSA (ensayo no destructivo), el tiempo de bombeabilidad, es decir, el tiempo de fraguado, por medio de un consistómetro presurizado, la prueba de agua libre usando una probeta de 250 ml, la pérdida de fluido mediante una filtro prensa llamada Fluid loss y las propiedades reológicas tales como el esfuerzo de gel, la viscosidad plástica y el punto cedente, usando un viscosímetro rotacional que consta de 6 velocidades; 600 RPM, 300 RPM, 200 RPM, 100 RPM, 6 RPM y 3 RPM.

Las pruebas mencionadas anteriormente se hicieron con el fin de realizar una comparación entre la lechada Step y la lechada convencional de la prestadora de servicios que opera en el Campo Guando ubicado en el departamento de Tolima, área rural de melgar.

Luego de realizar dicha evaluación experimental, se llevó a cabo una comparación entre los resultados obtenidos en cada lechada para establecer cuál es la más óptima para el proceso de cementación teniendo en cuenta la norma ASTM C-150.

En los análisis se pudo evidenciar que la densidad tanto para la lechada Step como para la lechada convencional es la misma a una temperatura de 90°F, con respecto a la resistencia de compresión en un tiempo de 24 horas se tuvo una resistencia mayor en la lechada Step que en la lechada convencional, en la pérdida de fluido se obtuvo un valor de 25 ml al cabo de un tiempo de 30 minutos para la lechada Step mientras que la lechada convencional no tuvo pérdida de fluido, por otra parte, el % de agua para la lechada Step evidencia que tuvo un mejor desempeño en relación a la lechada convencional.

El tiempo de fraguado para la lechada Step fue mayor a comparación con la lechada convencional, equivalentes a 7.05 horas, mientras que la lechada convencional demoró 3.3 horas lo que reflejó una baja rentabilidad en los costos operacionales del pozo, evidenciando que al incumplir una de las pruebas fisicoquímicas, la lechada Step no es técnicamente viable.

Con respecto al análisis financiero, se pudo demostrar que la lechada Step genera una mayor inversión, esta se definió cuando la relación beneficio-costó arrojó un dato menor que 1, siendo este de 0.98, mientras que la relación beneficio-costó para la lechada convencional fue de 1.82, lo que significa que la lechada convencional es financieramente rentable en su totalidad.

Palabras claves: Cementación, tiempo fraguado, lechada Step, nanotecnología.

ABSTRACT

In this degree project, the evaluation of different physicochemical tests was carried out in order to determine the properties of a grout formulated with non-toxic organic powders based on nanotechnology, these being the density of the grout using a pressurized balance, the compressive strength by means of the SGSA equipment (non-destructive test), the pumpability time, that is, the setting time, by means of a pressurized consistometer, the test of free water using a 250 ml test tube, the loss of fluid through a filter press called Fluid loss and rheological properties such as gel stress, plastic viscosity and yield point, using a rotational viscometer consisting of 6 speeds; 600 RPM, 300 RPM, 200 RPM, 100 RPM, 6 RPM and 3 RPM.

The tests mentioned above were made in order to make a comparison between the Step grout and the conventional grout of the service provider that operates in the Campo Guando located in the department of Tolima, rural area of Melgar.

After carrying out this experimental evaluation, a comparison was made between the results obtained in each grout to establish which is the most optimal for the cementation process, taking into account the ASTM C-150 standard.

In the analyzes it was evident that the density for both Step grout and conventional grout is the same at a temperature of 90 ° F, with respect to the compression resistance in a time of 24 hours, there was a greater resistance in the Step grout than in conventional grout, in the loss of fluid a value of 25 ml was obtained after a time of 30 minutes for the Step grout while the conventional grout had no fluid loss, on the other hand, the% of grout water Step shows that it performed better than conventional grout.

The setting time for Step grout was greater compared to conventional grout, equivalent to 7.05 hours, while conventional grout took 3.3 hours, reflecting a low profitability in the operational costs of the well, evidencing that by not complying with one of the Physicochemical tests, Step grout is not technically feasible.

With respect to the financial analysis, it could be shown that the Step grout generates a greater investment, this was defined when the benefit-cost ratio yielded less than 1, this being 0.98, while the benefit-cost ratio for conventional grout was 1.82, which means that conventional grout is financially profitable in its entirety.

Keywords: Cementation, setting time, Step grout, nanotechnology.

INTRODUCCIÓN

El trabajo de cementación es una de las etapas más importantes en las operaciones de perforación, debido a que el objetivo de esto es mantener la estabilización del pozo, aislando los influjos de gas y de agua, manteniendo las presiones en sus rangos óptimos y las temperaturas adecuadas para proteger y soportar la tubería de revestimiento. Una de las variables más trascendentales para que la producción de hidrocarburos sea un éxito, es la formulación de una adecuada lechada que cumpla con los requisitos establecidos en un plan de cementación, donde tenga un eficiente desplazamiento del lodo y una buena adherencia con la formación. A lo largo de los años el diseño de estas lechadas ha tenido grandes avances mediante la adición de varios aditivos especializados como densificantes, viscosificantes, espumantes, extendedores, entre otros, que puedan minimizar daños que han causado contaminación en la zona de interés y la formación, garantizando mantener las variables en su condición más segura.

El mal diseño de una lechada es el factor que más variación tiene en cuanto a las propiedades que debe cumplir este tipo de fluido, es aquí donde se ven reflejados los problemas característicos que afectan de una manera irreversible el trabajo de perforación. En estos casos puede ocurrir la contaminación del fluido de perforación por parte del cemento, también tener canalizaciones en la formación por sus bajas densidades y altas temperaturas, generando poca resistencia a la compresión y esfuerzos de gel. El producto de la presión hidrostática va a generar una interacción negativa entre lechada y la formación ocasionando pérdidas de la fase líquida influyendo de manera significativa en el aumento de los tiempos de fraguado de la sección 9 5/8" que se está cementando, donde se aumenta directamente los tiempos no productivos y proporcionalmente los costos operativos.

Una buena lechada de cementación debe satisfacer el rendimiento técnico, ambiental y económico, es ahí donde comienzan a manejarse nuevas tecnologías a base de nanotecnología y proyectos de innovación que benefician la industria petrolera, disminuyendo los costos de operación y aumentando los tiempos de producción¹⁰. Con base al problema general que es el aumento de los tiempos de fraguado en la sección 9 5/8" del campo Guando, se evaluó el desempeño de la lechada Step que trae varias alternativas de mejora para el trabajo de cementación, incluyendo el resultado de los aditivos presentes en la lechada y el aislamiento de los influjos de fluidos

La nanotecnología es un nuevo método que consiste en usar nuevas tecnologías con nano partículas favoreciendo los fenómenos de transferencia de masa y energía

¹⁰ Pluto Ground Technologies, Revista. Canadá, 2018 [en línea]. Disponible en: <http://www.plutogt.com/>

que pueden mitigar problemas asociados a la perforación debido a que mejora la reología de los fluidos mediante el cambio del tipo o tamaño del aditivo , en caso de este trabajo de investigación, presentado por Mesa duarte Carlos Alfonso y Pinzón Artega Juan Felipe de la Fundación Universidad de América en el año 2016 se planteó la implementación del nanosilice en la lechada de cementación, para mejorar las diferentes propiedades de la lechada de cemento que actualmente utiliza la empresa Superior Energy Services en la cementación del revestimiento de producción en Campo Castilla, principalmente se diseñaron 10 lechadas teniendo como punto de referencia la lechada de castilla, adicionaron 0.5% BWOC de nano sílice y aumentaron la concentración un 5% , luego de esto se realizaron las pruebas de laboratorio a cada una de estas lechadas, donde la densidad de la lechada es de 14.5 ppg siendo constante para todas las réplicas que se llevaron a cabo y el porcentaje de agua es 0% , finalmente se evaluaron estos resultados en la matriz definitiva que sirvió para hacer el estudio financiero donde la opción de una lechada con nanosilice es viable debido a que tienen una ganancia de 23.301,07 USD adicional a la tasa de interés de oportunidad.

En la empresa PLUTO GROUND TECHNOLOGIES de Canadá, en el año 2018 propusieron una lechada de composición inorgánica no toxica a base de nanotecnología, donde el rendimiento de esta mejora el tiempo de fraguado y aumenta la resistencia a la compresión, debido a que esta forma un ángulo recto en minutos luego de formar la mezcla aditivo agua. Esta se puede bombear sobre la formación de producción para aislarla temporalmente durante las operaciones correctivas a través de la broca y BHA siendo que esta tiene una baja reología debido a su mínima cantidad de solidos

En este trabajo se tiene como objetivo general “Evaluar el desempeño en los tiempos de fraguado de la lechada “Step” a base de nanotecnología en la sección de 9 5/8” del Campo Guando a nivel de laboratorio” y se cuentan con cuatro objetivos específicos:

- Realizar pruebas fisicoquímicas de la lechada “Step” a escala de laboratorio teniendo en cuenta la norma ASTM C-150.
- Comparar el comportamiento de la lechada “Step”, con respecto a la lechada convencional empleada en la zona de interés del Campo Guando.
- Evaluar el desempeño de la lechada “Step” según los rangos operativos del plan de perforación del Campo Guando a nivel de laboratorio.
- Analizar la viabilidad financiera mediante el indicador costo-beneficio del diseño de una lechada “Step” en comparación con la lechada convencional.

La lechada Step formulada con polvos orgánicos no tóxicos y mezclados con agua, proporciona altas resistencias a la compresión y tiene buena adherencia del

cemento con la formación disminuyendo así los tiempos de fraguado en comparación a una lechada convencional¹¹.

El primer objetivo se dará cumplimiento en el Numeral 2.3 donde se especificará cada una de las pruebas fisicoquímicas a realizar, las condiciones a las cuales se sometieron y el procedimiento que se usó en cada una de ellas. Se trabajará en la evaluación experimental de la lechada Step teniendo en cuenta la norma ASTM C-150, para poder examinar los resultados obtenidos se plasmarán en el Numeral 3 que tiene por título Resultados y Análisis.

El segundo objetivo se dará cumplimiento en el Numeral 2.4 en donde se analizarán los resultados fisicoquímicos obtenidos en el laboratorio evidenciados en el Numeral 3; Resultados y Análisis, esto con el fin de establecer una comparación detallada del comportamiento entre la lechada Step y la lechada convencional, en referencia a la presión, temperatura y propiedades simuladas del pozo.

Para el tercer objetivo se le dará cumplimiento en el Numeral 2.5 en el cual se evaluará el desempeño de la lechada Step donde se tendrán en cuenta los rangos operativos del plan de perforación del Campo Guando a nivel de laboratorio y se evidenciara en el Numeral 3; Resultados y Análisis, con el fin de determinar la eficiencia de cada una y cuál es la que más aportara con respecto a las necesidades del Campo.

Finalmente, el cuarto objetivo se mostrará en el Numeral 2.6 donde se realizará una evaluación financiera de la lechada Step con respecto a la lechada convencional mediante el indicador financiero relación costo beneficio (RBC) con el fin de determinar la viabilidad del proyecto evidenciado en el Numeral 3.2.

..

¹¹ Pluto Ground Technologies, Revista. Canadá, 2018 [en línea]. Disponible en: <http://www.plutogt.com/>

1. MARCO TEÓRICO

Teniendo presente que la base fundamental de esta investigación se enfoca en la cementación de un pozo, debido que es allí donde se asegura la integridad del mismo, es necesario definir unos conceptos básicos relacionados a este, como lo es las generalidades del campo donde se va a trabajar, la cementación, los tipos de cementación, aditivos, tiempo de fraguado, propiedades de la cementación, equipos empleados en el laboratorio y la norma ASTM C-150 con la que se pretende llevar a cabo este proyecto y así mismo es la que determina las pruebas fisicoquímicas y los rangos operativos con el fin de definir las limitaciones, condiciones, escenarios típicos de implementación, entre otros aspectos importantes que se mencionarán a continuación.

1.1 CARACTERIZACIÓN DEL CAMPO GUANDO

El Campo Guando se descubrió en el año 2000 y desde entonces su gestión ha sido determinada por la Asociación Boquerón (Petrobras, Ecopetrol y Nexen), actualmente tiene 152 pozos de los cuales 118 son productores, 30 son inyectoros y los otros 4 están cerrados¹².

1.1.1 Ubicación geográfica del Campo Guando. Este campo se encuentra ubicado en el departamento del Tolima, es decir, a 107 km de la ciudad de Bogotá, más específicamente en el municipio de Melgar, limita al oriente con Carmen de Apicalá, al occidente con Icononzo, al norte con el Departamento de Cundinamarca y al sur con Cunday¹³.

1.1.2 Características geológicas. Está ubicado en la formación Guadalupe, sobre un monoclinal limitado al este por la falla del Boquerón, a una profundidad promedio de 3500 ft y debido a que este yacimiento se encuentra sobre el nivel del mar maneja presiones muy bajas que oscilan entre 180 y 400 psi, además de mantener una temperatura de fondo de 105 °F¹⁴.

¹² Juan, G. Juan, E. Evaluación en los requerimientos de estimulación en pozos inyectoros en campo Guando, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2009. [En línea] Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2009/129591.pdf>

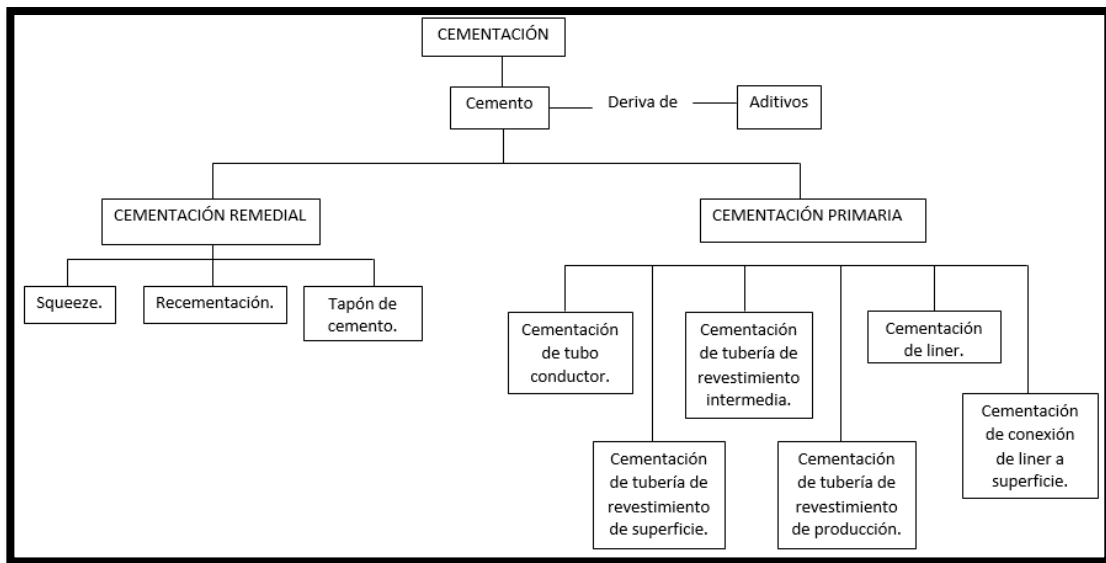
¹³ Liliana, I. Análisis de los instrumentos de comunicación e información del modelo de responsabilidad social de petrobras aplicado con la comunidad del municipio de melgar, departamento del Tolima, pontificia universidad javeriana. Bogota 2009. [En línea] disponible en [:https://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/comunicacion/tesis178.pdf](https://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/comunicacion/tesis178.pdf)

¹⁴ Juan, G. Juan, E. Evaluación en los requerimientos de estimulación en pozos inyectoros en campo Guando, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2009. [en línea] Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2009/129591.pdf>

1.2 CEMENTACIÓN

La cementación en ingeniería de petróleos se conoce como aquella actividad que asegura la vida productiva del pozo, generándole aislamiento zonal, protección de las formaciones perforadas y estabilidad. Hay dos tipos de cementación; primaria y secundaria (remedial), siendo la cementación primaria aquella en donde por el espacio anular entre la formación y a la tubería de revestimiento se bombea la lechada y la secundaria que es aquella que se realiza en procesos de remediación de pozos o en su defecto abandono del mismo.¹⁵ A continuación en la **Figura 1** se muestra un diagrama referente a la cementación y los tipos de cementación.

Figura 1. Cementación y tipos de cementación



Fuente: elaboración propia, basado en: Diseño De Una Lechada De Cemento Espumado, Como Base Para Una Cementación Primaria, Para Yacimientos Con Bajos Gradientes De Fractura Presentado Por Larry Andrés Gómez Flórez Karent Daniela Tarquino Nieto, Publicado 2018, Fundación Universidad De América.

1.2.1 Cementación Primaria. Esta cementación se realiza teniendo en cuenta el tipo de revestimiento a instalar en el pozo, además ayuda a proteger acuíferos someros, brindar soporte al revestimiento, sellar presiones anormales, aislar zonas de pérdidas de circulación y proteger al revestimiento de corrosión debido a fluidos de las diferentes formaciones. Esta cementación tiene como fin desplazar el fluido por el pozo, llegando así al fondo y desplazándose por en anular entre la formación y la tubería de revestimiento, para ello se deben realizar los cálculos pertinentes

¹⁵ Diseño De Una Lechada De Cemento Espumado, Como Base Para Una Cementación Primaria, Para Yacimientos Con Bajos Gradientes De Fractura Presentado Por Larry Andrés Gómez Flórez Karent Daniela Tarquino Nieto, Publicado 2018, Fundación Universidad De América.

para que el cemento llegue a la zona que se pretende cementar y finalmente será necesario esperar que el cemento fragüe; es decir tiempo en el que se espera que el cemento se haya secado por completo y haya adquirido total consistencia para poder continuar con la perforación.¹⁶

1.2.1.1 Cementación de tubo conductor. El tubo conductor la mayoría de veces es la tubería de revestimiento, es decir, la tubería más corta que se encarga de evitar que los fluidos de perforación contaminen las arenas poco profundas, también evita derrumbes que se producen cerca de superficies donde hay capas superficiales o lechos de grava no consolidados¹⁷.

1.2.1.2 Cementación de tubería de revestimiento de superficie. Es el segundo revestimiento que actúa como aislamiento para las formaciones no consolidadas o zonas de agua presentes a poca profundidad y en algunos países, según la legislación tiene requisitos mínimos sobre las propiedades de la tubería de revestimiento y cemento fraguado¹⁸.

1.2.1.3 Cementación de tubería de revestimiento intermedia. Es la que se utiliza para mantener la integridad del pozo al momento de aumentar la profundidad de perforación y también separa el pozo en secciones explotables, permite aislar zonas de pérdida de circulación, secciones salinas, zonas de sobrepresión, secciones con lutitas y otras condiciones en el fondo o en superficie del pozo que no permiten continuar la perforación¹⁹.

1.2.1.4 Cementación de tubería de revestimiento de producción. En la perforación del pozo la parte más importante es la colocación y cementación de la tubería de revestimiento de producción debido a que sirve como sustentación del agujero, aísla la zona productiva de otras formaciones y de los fluidos presentes en ella, recubre tuberías de revestimiento intermedias dañadas o desgastadas y actúa como cubierta de protección de los equipos de terminación²⁰.

1.2.1.5 Cementación de liner. Teniendo en cuenta que los liner son tuberías de cementación que no llegan a superficie, sino que son colgadas en el interior de la

¹⁶ Diseño De Una Lechada De Cemento Espumado, Como Base Para Una Cementación Primaria, Para Yacimientos Con Bajos Gradientes De Fractura Presentado Por Larry Andrés Gómez Flórez Karent Daniela Tarquino Nieto, Publicado 2018, Fundacion Universidad De America.

¹⁷ Diseño De Una Lechada De Cemento Espumado, Como Base Para Una Cementación Primaria, Para Yacimientos Con Bajos Gradientes De Fractura Presentado Por Larry Andrés Gómez Flórez Karent Daniela Tarquino Nieto, Publicado 2018, Fundacion Universidad De America.

¹⁸ Diseño De Una Lechada De Cemento Espumado, Como Base Para Una Cementación Primaria, Para Yacimientos Con Bajos Gradientes De Fractura Presentado Por Larry Andrés Gómez Flórez Karent Daniela Tarquino Nieto, Publicado 2018, Fundacion Universidad De America.

¹⁹ Diseño De Una Lechada De Cemento Espumado, Como Base Para Una Cementación Primaria, Para Yacimientos Con Bajos Gradientes De Fractura Presentado Por Larry Andrés Gómez Flórez Karent Daniela Tarquino Nieto, Publicado 2018, Fundacion Universidad De America.

²⁰ Diseño De Una Lechada De Cemento Espumado, Como Base Para Una Cementación Primaria, Para Yacimientos Con Bajos Gradientes De Fractura Presentado Por Larry Andrés Gómez Flórez Karent Daniela Tarquino Nieto, Publicado 2018, Fundacion Universidad De America.

tubería, permite utilizar menos tubería de revestimiento y por ende reducir el costo de pozo. Las lechadas usadas en la cementación con liner permiten presentar propiedades de fluidez y de fraguado que garantizan aislamiento y buena sustentación²¹.

1.2.1.6 Cementación de conexión de liner a superficie. Son aquellas que salen desde el tope de un liner y ascienden hasta un punto determinado o hasta superficie y se utilizan para reparar tuberías de revestimiento, dañadas, desgastadas o corroídas y con el fin de reforzar la protección contra la presión y la corrosión²².

1.3 CEMENTACIÓN REMEDIAL

Esta cementación se realiza en procesos de remediación de pozo en la etapa de abandono y se divide en:

- **Squeeze:** Es una operación donde el cemento se inyecta a alta presiones por la formación, esta operación se realiza durante la perforación o el workover.
- **Recementación:** Este tipo de cementación consiste en bombear el cemento por las perforaciones que están por encima y por debajo de la zona que se desea remediar.
- **Tapón de cemento:** Este cemento se bombea a altas presiones ya sea para aislar las zonas con pérdidas de circulación, para abandonar el pozo o para neutralizar influjos de agua en el fondo del pozo.

1.4 CEMENTO

Es una mezcla entre cementos, aditivos y agua, estos aditivos dependerán de las necesidades del pozo, las características geológicas de la formación y la sección a perforar y cementar.²³

1.4.1 Aditivos. Son materiales que ayudan a modificar las propiedades del cemento permitiendo realizar con eficiencia los trabajos requeridos además de operar en los rangos de presión y temperatura del pozo, existen aditivos que se

²¹ Diseño De Una Lechada De Cemento Espumado, Como Base Para Una Cementación Primaria, Para Yacimientos Con Bajos Gradientes De Fractura Presentado Por Larry Andrés Gómez Flórez Karent Daniela Tarquino Nieto, Publicado 2018, Fundacion Universidad De America.

²² Diseño De Una Lechada De Cemento Espumado, Como Base Para Una Cementación Primaria, Para Yacimientos Con Bajos Gradientes De Fractura Presentado Por Larry Andrés Gómez Flórez Karent Daniela Tarquino Nieto, Publicado 2018, Fundacion Universidad De America.

²³ Diseño De Una Lechada De Cemento Espumado, Como Base Para Una Cementación Primaria, Para Yacimientos Con Bajos Gradientes De Fractura Presentado Por Larry Andrés Gómez Flórez Karent Daniela Tarquino Nieto, Publicado 2018, Fundacion Universidad De America.

encargan de controlar las propiedades de la lechada, como la tixotropía, esfuerzo de gel, espuma, expansión, y canalización de gas.

1.4.2 Tiempo de fraguado. Es el tiempo en que la lechada se demora en secar completamente y los aditivos que se utilizan para controlar esta propiedad permiten reducir el tiempo de fraguado como los aceleradores o alargar el tiempo de secado como los retardadores y se pueden observar algunos ejemplos en la **Tabla 1**.²⁴

Tabla 1. Aceleradores y Retardadores más comunes en la Industria Petrolera

ACELERADORES	RETARDADORES
Cloruro de Sodio	Lignosulfonato de Calcio
Silicato de Sodio	Carboximetil Hidroxietilcelulosa (CMHEC)
Cloruro de Sodio a bajas concentraciones	Cloruro de Sodio a altas concentraciones
Agua Marina	Bórax
Yeso	La mayoría de aditivos para el control de pérdidas
Cloruro de Amonio	

Fuente: GÓMEZ A, TARQUINO K. Diseño de una lechada de cemento espumado, como base para una cementación primaria, para yacimientos con bajos gradientes de fractura. [en línea]. Tesis. Fundación Universidad de América, Bogotá, Colombia: 2018

1.5 PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE UNA LECHADA DE CEMENTACIÓN

Para el correcto diseño de la lechada es importante definir las propiedades o rangos operativos del cemento con el fin de satisfacer las necesidades del pozo después de bombear el cemento, debido a que al no identificarlas adecuadamente se generaría un daño a la formación y los resultados en las operaciones de cementación serían erróneos.²⁵ A continuación se van a mencionar las pruebas fisicoquímicas pertinentes en el desarrollo de una lechada de cementación.

1.5.1 Densidad. Consiste en la relación entre la masa y el volumen de una sustancia y puede ser controlada con el uso de aditivos extendedores (**Tabla 2**), que son aquellos que reducen la densidad de la lechada o densificantes, que la aumentan.

²⁴ MORGADO, Paulino. INTRODUCCIÓN A LA CEMENTACIÓN. Diciembre 4. Disponible en: https://www.academia.edu/5800776/iii_JET_14_-Introducci%C3%B3n_a_la_Cementaci%C3%B3n?auto=download

²⁵ Diseño De Una Lechada De Cemento Espumado, Como Base Para Una Cementación Primaria, Para Yacimientos Con Bajos Gradientes De Fractura Presentado Por Larry Andrés Gómez Flórez Karent Daniela Tarquino Nieto, Publicado 2018, Fundacion Universidad De America.

Tabla 2. Extendedores y Densificantes más comunes en la Industria Petrolera.

EXTENDEDORES	DENSIFICANTES
Bentonita	Barita
Puzolana	Hematita
Tierras Diatomáceas	Ilmenita
Metasilicato de Sodio	Dispersantes
Gilsonita	Sal
Carbón Triturado	

Fuente: GÓMEZ A, TARQUINO K. Diseño de una lechada de cemento espumado, como base para una cementación primaria, para yacimientos con bajos gradientes de fractura. [en línea]. Tesis. Fundación Universidad de América, Bogotá, Colombia: 2018

Las lechadas utilizadas en la cementación de pozos de petróleo y gas tienen una densidad entre 11.5 lbm/galUS y 19.0 lbm/galUS (1.380 kg/m³ y 2.280 kg/m³).

1.5.2 Resistencia a la compresión. Es la capacidad que tiene un material para soportar esfuerzos compresivos sin deformarse o quebrarse y se logra determinar al momento de fraguar el cemento teniendo en cuenta la temperatura, la presión, la composición de adición de Cloruro de Calcio, Cloruro de Sodio, Cloruro de Amonio poca agua y calor.

1.5.3 Tiempo de espesamiento o bombeabilidad. Estas pruebas son necesarias para calcular el tiempo en que una lechada está en estado líquido en las condiciones de presión y temperatura simuladas del pozo. Estas condiciones se simulan mediante un consistómetro presurizado, el cual mide la consistencia de la lechada de prueba contenida en una copa rotativa y los resultados de esta prueba se expresan en unidades Bearden de consistencia (Bc).

1.5.4 Agua libre. Estas pruebas permiten medir la tendencia del agua a separarse de la lechada de cementación, dicha tendencia se mide en mL/ 250 mL, preparando una lechada de cementación que se somete a condiciones del pozo y se deja reposar en una probeta (vertical o con inclinación de 45°) por un lapso de tiempo de 2 horas, transcurrido este tiempo, se mide en el cilindro la cantidad de agua libre que hay en la superficie de la lechada.²⁶

²⁶ MORGADO, Paulino. INTRODUCCIÓN A LA CEMENTACIÓN. Diciembre 4. Disponible en: https://www.academia.edu/5800776/iii_JET_14_-Introducci%C3%B3n_a_la_Cementaci%C3%B3n?auto=download

1.5.5 Pérdida de fluido. Es una filtración de lechada de cemento hacia las formaciones, o cualquier fuga de la fase líquida de un fluido. Estas pruebas miden la deshidratación que presenta la lechada durante los trabajos de cementación y luego de terminarlos. Esta prueba consiste en someter la lechada a las condiciones simuladas del pozo en un consistómetro, luego esta lechada se pone en una prensa-filtro caliente y si la lechada se deshidrata totalmente en menos de 30 minutos se determina el tiempo de deshidratación y con un factor de conversión se define el valor de pérdida de fluido, estos resultados se expresan en mL de fluido.

1.5.6 Propiedades reológicas. Estas propiedades se controlan para poder facilitar la mezcla y la bombeabilidad de la lechada, así como para obtener las características deseadas del caudal del fluido. Las propiedades del fluido que definen la reología son: la viscosidad plástica (PV) expresada en cp y se define como la pendiente de la línea de esfuerzo de corte sobre la velocidad de corte por encima del punto de cedencia (Ty) que es la otra propiedad, expresado en libras de fuerza / 100 pies cuadrados que mide la resistencia del fluido a fluir.

1.6 NORMA ASTM C-150

En esta norma se especifica ocho tipos de cemento portland Tipo I, Tipo IA, Tipo II, Tipo IIA, Tipo III, Tipo IIIA, Tipo IV, Tipo V. Cada uno de estos tipos de cemento son designados con una clasificación de tipo combinada, tal como Tipo I/II, indicando que el cemento reúne los requisitos de los tipos indicados y que se ofrece como apropiado para el uso cuando se desea cualquiera de estos, hay que tener presente que las unidades estándares se manejan en sistema internacional y en otros casos pulgada-libra²⁷

Tipo I: Para usar cuando no se requieran las propiedades especiales especificadas para cualquier otro tipo.

Tipo IA: Cemento incorporador de aire para los mismos usos que el Tipo I, donde se desea incorporación de aire.

Tipo II: Para uso general, más específicamente cuando se desea resistencia moderada a los sulfatos o calor de hidratación moderado.

Tipo IIA: Cemento incorporador de aire para los mismos usos que el Tipo II, donde se desea incorporación de aire.

²⁷ Especificación normalizada para cemento portland, ASTM internacional. Products and services. Disponible en: <https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/C150-07-SP.htm>

Tipo III: Para usar cuando se desea alta resistencia inicial o temprana.

Tipo IIIA: Cemento incorporador de aire para los mismos usos que el Tipo III, donde se desea incorporación de aire.

Tipo IV: Para usar cuando se desea bajo calor de hidratación.

Tipo V: Para usar cuando se desea alta resistencia a los sulfatos

1.7 LECHADA A BASE DE NANOTECNOLOGÍA EMPLEADA EN EE.UU (SMARTSET)

SmarSet está patentado en Estados Unidos, Canadá y en Europa, es una lechada formulada con polvos orgánicos no tóxicos que al mezclarse con agua proporciona una rápida resistencia a la compresión en condiciones de fondo de pozo. Esta lechada se puede bombear sobre la formación de producción para aislarla temporalmente durante las operaciones correctivas, también se puede bombear a través de la broca y BHA en aplicaciones de perforación debido a sus características, también establece una generación de resistencia de gel cero eliminando las canalizaciones, reduciendo la presión hidrostática y evitando influjos por gas.

1.7.1 Aplicaciones de la lechada SmartSet. Tras una previa planificación en el laboratorio, la compañía Pluto Ground Technologies establece ciertos criterios referentes a aceleradores o inhibidores, con el fin de cumplir las etapas mencionadas a continuación en el **Cuadro 1**.

Cuadro 1. Aplicaciones de la lechada SmartSet

Completación	Abandono	Perforación
<ul style="list-style-type: none">• La zona de gas está cerrada.• Ventilación de gas de superficie cerrada.• Reparación de canales anulares.• Reparación de la carcasa y fugas de la carcasa.• Tapones temporales para pozos.	<ul style="list-style-type: none">• Ventilación de gas de superficie cerrada.• Tapones de abandono.• Tapones colocados a través de tubo colapsado.• Pantalla apagada.	<ul style="list-style-type: none">• Tapones colocados a través de la broca.• Perdida de la circulación.• Consolidación de formaciones.• Apretones de zapatos.• Lechada alternativa de cola.• Trabajos superiores de

- | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> • Protege la forma de polímeros pesados y salmueras durante la operación de remediación. | revestimiento de superficie. |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|

Fuente: Pluto Ground Technologies, Revista. Canadá, 2018 [en línea]. Disponible en: <http://www.plutogt.com/>

1.7.2 Beneficios de la lechada SmartSet²⁸

- Resiste el 30% de contaminación (orgánica o inorgánica) sin afectar las características del tiempo establecido.
- Desarrolla rápida resistencia a la compresión en promedio es de 4000 psi.
- No se ve afectado por la presión hidrostática: el ajuste solo se ve por el tiempo y la temperatura.
- Fácil de limpiar en el trabajo: se puede diluir con agua.
- Fácil de perforar sin cortes: aproximadamente 10m/h con agua, tubos en espiral y motor.
- Generación de fuerza de gel cero.
- Amigable con el medio ambiente.

1.8 EQUIPOS PARA EL CÁLCULO DE LAS PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DE UNA LECHADA A NIVEL LABORATORIO

A continuación, se describen los equipos empleados para realizar cada una de las pruebas fisicoquímicas llevadas a cabo en esta investigación, como lo es, el mezclador, la balanza presurizada, el SGSA, el consistómetro presurizado, el fluid loss, el viscosímetro rotacional y el consistómetro atmosférico.

1.8.1 Mezclador (Mixer). Es un mezclador de velocidad constante (**Figura 2**) que provee todo lo necesario para una lechada de cementación de acuerdo con la norma API 10 B, es una herramienta equivalente a una licuadora que cuenta con dos velocidades precisas (4000 RPM y 12000 RPM). Tiene capacidad de un litro, las

²⁸ Pluto Ground Technologies, Revista. Canadá, 2018 [en línea]. Disponible en: <http://www.plutogt.com/>

cuchillas son resistentes a la corrosión y el material del vaso también, una vez tenga el 10% de desgaste debe remplazarse.

Figura 2. Mixer



Fuente: MESA C, PINZON J. Evaluación técnico-financiera del uso de nanomateriales en lechadas de cemento para revestimiento de producción en campo Castilla, a nivel de laboratorio [en línea]. Tesis. Fundación Universidad de América, Bogotá, Colombia: 2016

1.8.2 Balanza Presurizada. Es un equipo (**Figura 3**) empleado para medir la densidad de un líquido, bajo una presión suficiente para eliminar el efecto de las burbujas de gas en líquido. Este se compone de un vaso fijo a un lado del extremo que se llena del fluido hasta el tope seguido de una barra y un contrapeso en el otro extremo, la barra tiene una cuchilla en el medio que sirve como punto de equilibrio, hay que lavar y secar la cámara externamente y se coloca la balanza en el punto de apoyo luego se mueve a la izquierda o a la derecha la pesa deslizante hasta que el indicador quede en equilibrio y se pueda leer el valor de la densidad en una

burbuja para mostrar cuando este nivelado, el vaso tiene una tapa a rosca sellada con una válvula en la tapa que conecta una pequeña bomba manual de tipo pistón.²⁹

Figura 3. Balanza presurizada



Fuente: elaboración propia, basado en:
laboratorio Tucker Energy Services S.A.

1.8.3 SGSA. Ensayo no destructivo. Esta prueba se ejecuta para determinar el esfuerzo a la compresión que desarrolla la lechada de cemento mientras está sometida a unas condiciones de presión y temperatura.

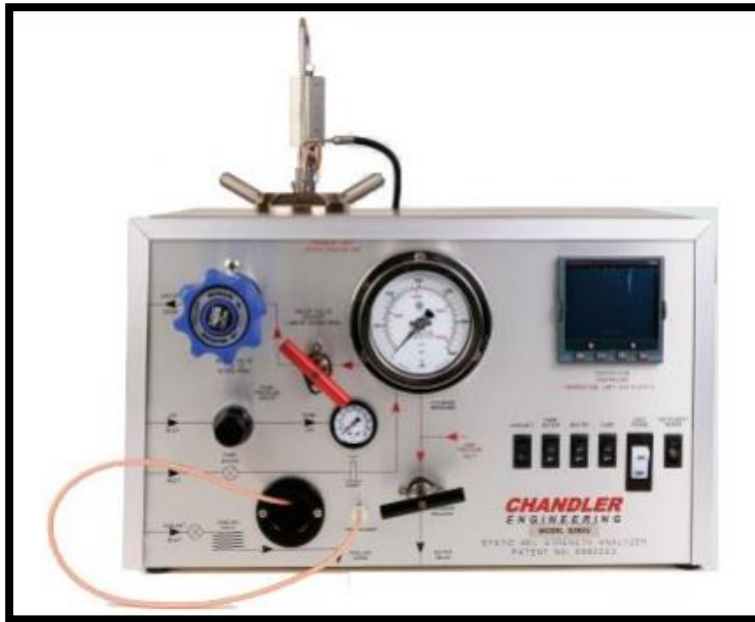
Se le nombra ensayo no destructivo porque en ningún instante se va a colocar la muestra del cemento directamente sobre un esfuerzo de presión. Esta prueba se realiza en un equipo llamado analizador ultrasónico de cemento (**Figura 4**) que mide el cambio de las indicaciones ultrasónicas que pasan a través de la muestra de cemento en tiempo real. Esto se debe a que las ondas sónicas se propagan más lentamente en sustancias líquidas, el tiempo de tránsito es cuando la lechada se encuentra líquida va a ser mayor, pero cuando la sustancia se encuentre sólida el tiempo de tránsito reducirá. Después por medio de algoritmos, la UCA pasa estos tiempos de tránsito a unidades de psi (unidades en las cuales se mide la resistencia a la compresión)³⁰ determinando la presión que la lechada soportaría en condiciones de pozo.

²⁹ Oilfield glossary. Disponible en:

https://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/p/pressurized_mud_balance.aspx

³⁰Trabajo de grado para optar el título de ingeniero de petróleos por Mesa, Duarte Carlos Alfonso y Pinzón Artega Juan Felipe, año 2016. Disponible en :
<http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/638/1/5111687-2016-2-IP.pdf>

Figura 4. SGSA



Fuente: CHANDLERENG. Products. Disponible en: www.chandlereng.com/products/oilwellcementing

1.8.4 Consistómetro presurizado. Este equipo está diseñado para medir el tiempo de espesamiento de las lechadas de cemento (**Figura 5**) siguiendo las especificaciones de la norma API RT10B, el resultado de esto es la simulación de cuánto tiempo permanece bombeable en las condiciones del pozo, ofrece un sistema computarizado de Adquisición y Control de Datos, control automático de temperatura y presión.³¹ El consistómetro presurizado radica en una cámara con un motor en el fondo y llena de aceite este importante porque es el que proporciona las temperaturas y las presiones que se deseen suponer. Dentro de esta cámara se ubica la copa, la cual en su parte interior tiene una paleta y la lechada. La paleta va conectada a un resorte y cuando el motor gira, hace que la lechada intente impulsar la paleta y de esta forma correr el resorte; el potenciómetro mide la deformación del resorte este es el lapso de tiempo en que la lechada de cemento alcanzará entre 30, 50, 70 y 100 unidades Bearden (Bc).³²

³¹ Caracterización de partículas Ostos y Ostos LTDA. Disponible en : <https://www.cparticulas.com/copia-de-instrumentos-para-fluidos->

³² Trabajo de grado para optar el título de ingeniero de petróleos por Mesa, Duarte Carlos Alfonso y Pinzón Artega Juan Felipe, año 2016. Disponible en : <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/638/1/5111687-2016-2-IP.pdf>

Figura 5. Consistómetro presurizado



Fuente: elaboración propia, basado en: laboratorio Tucker Energy Services S.A.

1.8.5 Fluid Loss. Es un filtro prensa (**Figura 6**), que tiene un área de filtración de 3.5 pulgadas cuadradas, es serie Estándar Cedazo maya soportada por un Numero 60 o una Serie de Cedazo de maya numerada más bajo, ambos fabricados en acero inoxidable a una unidad integral. Tiene un Cilindro graduado grande para contener y medir el volumen de filtrado.³³ La prueba se ejecuta para establecer la velocidad a la cual la lechada se deshidrata durante los trabajos de cementación cuando esté en contacto con una formación permeable, la deshidratación es la pérdida de líquidos de la lechada, los cuales por la presión son separados de esta y fluyen hacia la formación. La velocidad es importante, ya que una deshidratación prematura de la lechada traerá como consecuencia problemas operacionales como el fraguado prematuro o fracturas inducidas en consecuencia del aumento de la densidad de la lechada por la pérdida de los líquidos.³⁴

³³ Fuente: ingeniería y tecnología de servicios, Disponible en: <https://docs.google.com/document/d/1ipkAhxoQLAVDxuphG6VfeZdkzVXh76LWzaX3Q38AReQ/edit>

³⁴ Trabajo de grado para optar el título de ingeniero de petróleos por Mesa, Duarte Carlos Alfonso y Pinzón Artega Juan Felipe, año 2016. Disponible en : <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/638/1/5111687-2016-2-IP.pdf>

Figura 6. Fluid Loss



Fuente: CHANDLERENG. Products.
Disponible en: www.chandlereng.com/products/oilwellcementing

1.8.6 Viscosímetro Rotacional. Este equipo (**Figura 7**) permite realizar un análisis de las medidas de viscosidad para diferentes tipos de fluidos, fluidos de perforación o lechadas de cemento, determinando así las propiedades reológicas de las características tixotrópicas de alta viscosidad, dependiendo del tiempo.³⁵ Este equipo tiene un cilindro que está acoplado a un resorte de torsión el cual evita su movimiento; el cilindro está situado concéntricamente dentro del rotor; el espacio entre cilindro y el rotor debe ser conocido con el fin de tener más seguridad en los resultados, este espacio es llenado con la lechada que se está midiendo la reología.³⁶ Cuenta con un indicador directo y con 6 velocidades: 600, 300, 200, 100, 6 y 3 revoluciones por minuto, generando que el resorte sufra una deflexión la cual es la que se observa.

³⁵ Servicios científicos-técnicos de la UPC. Disponible: <https://www.upc.edu/sct/es/equip/725/viscosimetro-rotacional.html>

³⁶ Trabajo de grado para optar el título de ingeniero de petróleos por Mesa, Duarte Carlos Alfonso y Pinzón Artega Juan Felipe, año 2016. Disponible en : <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/638/1/5111687-2016-2-IP.pdf>

Figura 7. Viscosímetro Rotacional.



Fuente: elaboración propia, basado en: laboratorio Tucker Energy Services S.A.

1.8.7 Consistómetro atmosférico. Determina el agua libre como la tendencia del fluido a separarse en una lechada antes de fraguarse, y se realiza este procedimiento mediante un equipo llamado consistómetro atmosférico (**Figura 8**) y bajo las siguientes características:³⁷

- Temperatura máxima de 100 °C (212 ° F).
- Unidad se opera a presión atmosférica.
- La temperatura se mantiene a través de un controlador PID.
- Temperatura de proceso se muestra digitalmente.
- Fluido de transferencia de calor se hace circular continuamente.
- Potencia del calentador es 1500.

³⁷ RIGCHINA GROUP COMPANY. Disponible en: <https://www.directindustry.es/prod/rigchina-group-company/product-39431-1088769.html>

- Velocidad de rotación contenedor de lechada es de 150 rpm según las especificaciones de la API.
- Diseño de doble contenedor.
- Sistema de enfriamiento incluido.
- Baño de temperatura de acero inoxidable.
- Unidad de calibración de peso muerto.

Figura 8. Consistómetro atmosférico



Fuente: RIGCHINA GROUP COMPANY. Disponible en: <https://www.directindustry.es/prod/rigchina-group-company/product-39431-1088769.html>

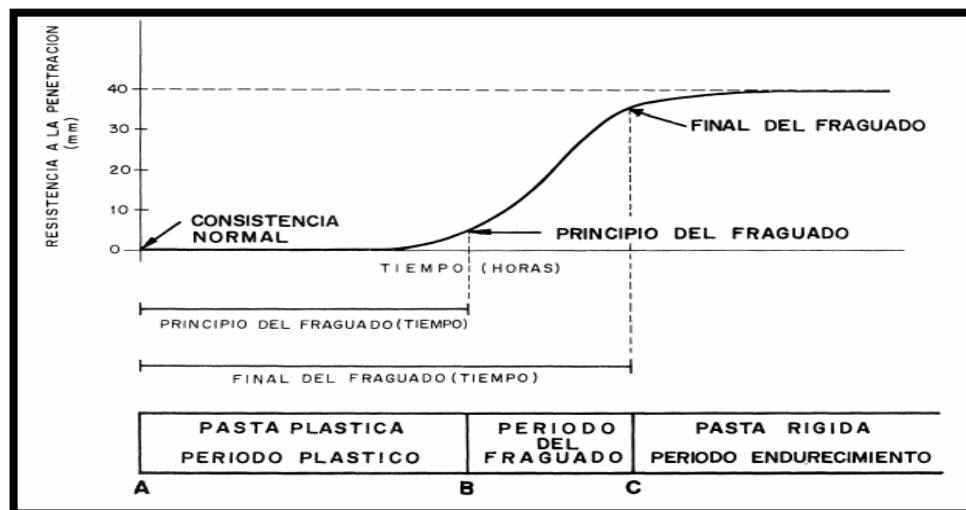
1.9 DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE FRAGUADO

La norma ASTM C-150 para los 5 tipos de cemento que esta clasifica, especifica que cuando el cemento entra en contacto con el agua, comienza una reacción química exotérmica que determina la compactación de la mezcla y allí se presentan dos estados; el primero donde el cemento pierde en su plasticidad y se vuelve difícil de manejar, este se llama fraguado inicial y alcanza un tiempo entre 45 y 60 minutos. A medida que se va endureciendo y que va pasando el tiempo, se presenta un nuevo

estado que se denomina fraguado final de aproximadamente 10 horas, este tiempo es el lapso necesario para que la lechada pase de estado líquido a sólido³⁸. En algunos casos para las capacidades del cemento o las condiciones requeridas del pozo existen aditivos químicos que sirven como retardantes para el tiempo de bombeabilidad o aceleradores como sustancias alcalinas o sales para que disminuya su tiempo de fraguado y así ahorren tiempos no producidos.

Se estima por el método de Vicat, donde se determinan los tiempos al inicio, en el transcurso y al final del fragüe, desde el amasado del cemento con el agua con la aguja de Vicat con una masa de 300 g y un diámetro de 1,13 mm. Se termina en una placa de apoyo o a una profundidad dada. Como se muestra a continuación en la **Figura 9**.

Figura 9. Método de Vicat



Fuente: Normalización del cemento. Tiempo de fraguado: algunos comentarios sobre el método de ensayo por Dr. DEMETRIO GASPAR-TEBAR. Disponible en: <http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/viewFile/1078/1148>

³⁸JOSE, S. DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE FRAGUADO INICIAL Y FINAL DEL CEMENTO, Universidad Centroamericana. El salvador. [en línea]. Disponible en: <http://www.uca.edu.sv/mecanica-estructural/materias/materialesCostruccion/guiasLab/ensayoCemento/Fraguado%20inicial%20y%20final%20del%20cemento.pdf>

2. METODOLOGÍA Y DATOS

En este capítulo se muestra la metodología para el desarrollo, comparación, análisis, desempeño y viabilidad técnico financiera que tiene la lechada Step en relación con la lechada convencional. Para el desarrollo de esta metodología se llevaron a cabo pruebas fisicoquímicas con el fin de determinar el desempeño de cada una de ellas en la lechada Step y la lechada convencional, siendo estas, la densidad de la lechada, la resistencia a la compresión, la bombeabilidad o tiempo de espesamiento, el agua libre, la pérdida de fluido, el tiempo de fraguado y el perfil reológico que comprende las pruebas de Viscosidad Plástica (VP), Punto Cedente (YP) y Esfuerzos de Gel.

Hay que tener presente que el agua de la mezcla hace referencia a la cantidad de agua que se necesita para que al combinarse con un saco de cemento genere una lechada con la densidad deseada, el agua puede ser tanto dulce como salada según la aplicación³⁹, para ello se le realizaron distintas pruebas químicas, sin embargo, para este estudio se tuvieron en cuenta 5 pruebas: Dureza Total, Cloruros, Calcio, Alcalinidad Total y pH con el fin de determinar la calidad del agua y clasificarla como apta teniendo en cuenta la resolución 2115 del 2007 que define como rango máximo para Dureza Total 300 mg/L, Cloruros 250 mg/L, Calcio 60 mg/L, Alcalinidad Total 200 mg/L y pH un rango entre 6.5 a 8.5. Estas pruebas químicas se realizaron una única vez al momento de llegar el nuevo lote de cemento a los laboratorios y es importante aclarar que este procedimiento no se contempla en esta investigación debido a que ya fue realizado previamente por el laboratorio Tucker Energy Services S.A.

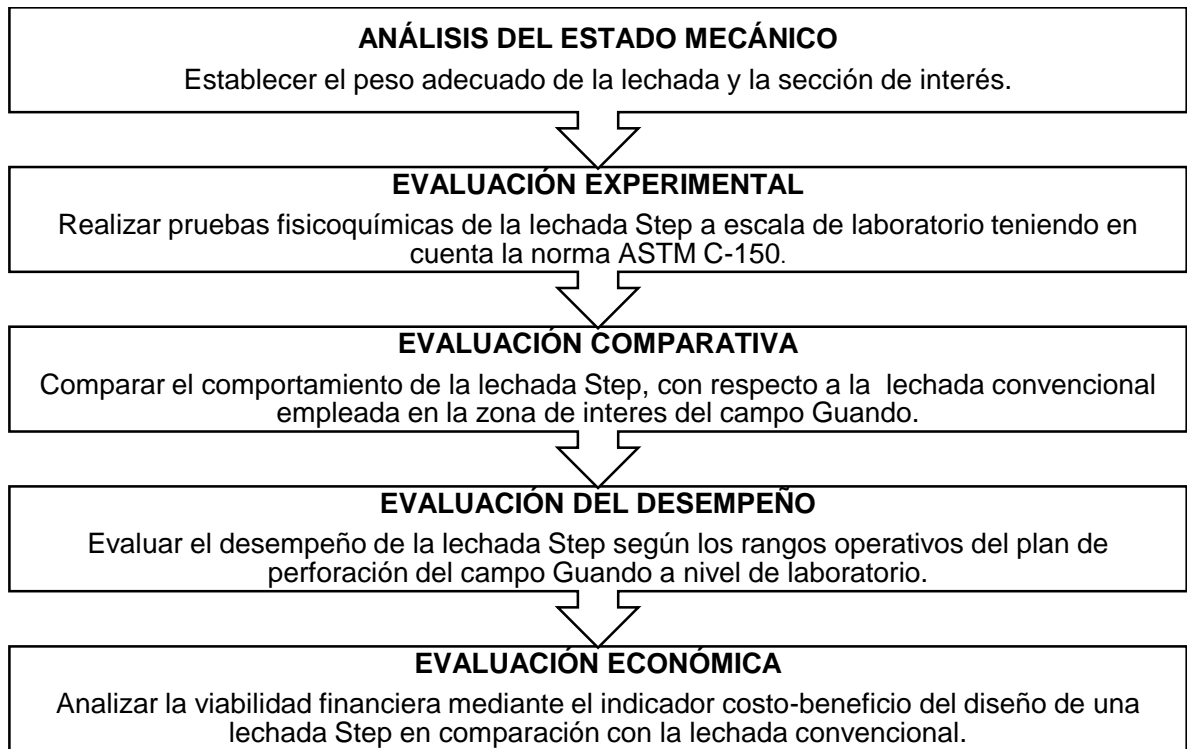
Luego de realizar las pruebas fisicoquímicas se hace la respectiva comparación de las lechadas y el análisis de resultados para evaluar la viabilidad técnica y definir así, el desempeño de cada lechada a nivel de laboratorio con objeto de establecer su interacción con la formación. Con el fin de cumplir la metodología se contempla la viabilidad financiera mediante el indicador Costo-Beneficio.

Es importante aclarar que la formulación de la lechada Step no se contemplará en este proyecto por cuestiones de confidencialidad por parte de la empresa. **(Ver Anexo A)**

Para dar cumplimiento al alcance de esta investigación, se planteó el siguiente diseño metodológico teniendo en cuenta cada objetivo específico como una evaluación, evidenciadas a continuación en el **Cuadro 2**.

³⁹ SCHLUMBERGER, Op., Cit., Pág. 17

Cuadro 2. Etapas para comparar y evaluar el desempeño de la lechada Step con la lechada convencional en el tiempo de fraguado.

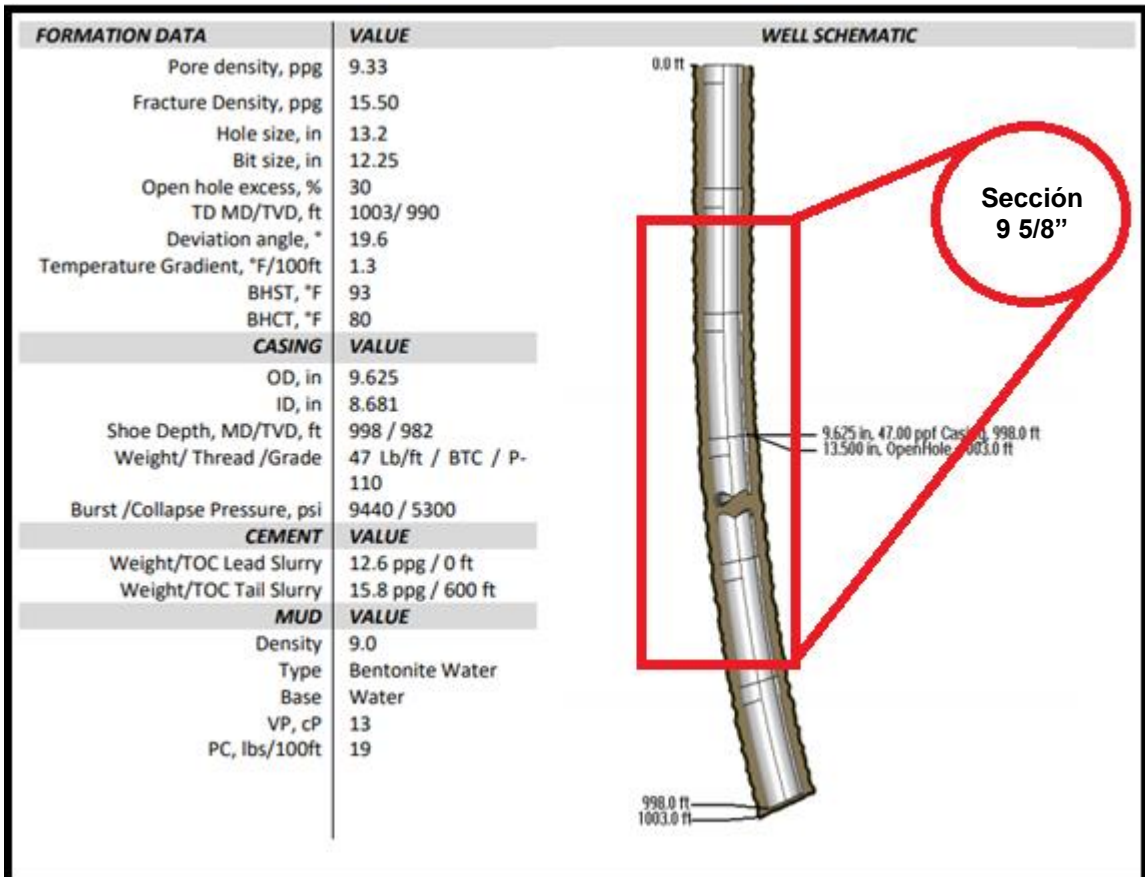


Fuente: elaboración propia.

2.1 ESTADO MECÁNICO DEL CAMPO GUANDO

A continuación, en la **Figura 11** se evidencia la ubicación del pozo Guando SW 15 para la sección de 9 5/8" del Campo Guando y en el **Cuadro 3** las condiciones o rangos de la lechada convencional en términos de peso de lodo y los valores de las propiedades físicoquímicas óptimos al que debe estar el pozo con el fin de evitar su fracturamiento y de igual forma delimitar las variables que influyen en la comparación de esta investigación para el desarrollo de cada evaluación.

Figura 10. Estado mecánico del pozo Guando SW 15 para la sección de 9 5/8” del Campo Guando.



Fuente: elaboración propia, basado en: plan de cementación de la prestadora de Servicios.

Cuadro 3. Valores de las propiedades fisicoquímicas que debe cumplir la lechada convencional para ser empleada en la sección de 9 5/8” del Campo Guando según la prestadora de servicios que allí opera.

Propiedad	Cabeza (Lead)	Cola (Tail)
Densidad de la lechada (ppg)	12.6	15.8
Resistencia a la compresión (24 horas) (psi)	420	2244
Tiempo de bombeabilidad o espesamiento (70 Bc) (min)	225	198
Agua libre (%)	<0.88	<1.4
Pérdida de Fluido (ml)	0	0

Fuente: elaboración propia, basado en: plan de cementación de la prestadora de Servicios.

2.2 DATOS SUMINISTRADOS POR LA PRESTADORA DE SERVICIOS PARA LA LECHADA CONVENCIONAL

En este apartado se darán a conocer los datos obtenidos en las pruebas fisicoquímicas realizadas a nivel de laboratorio para una lechada convencional por una de las prestadoras de servicios más importantes de Colombia.

2.2.1 Composición química de la lechada convencional. A continuación, en la **Tabla 3** se evidencia la composición química de la lechada convencional para la lechada Lead Slurry y en la **Tabla 4** se encuentra la información pertinente para la lechada Tail.

Tabla 3. Composición de la lechada convencional (Lead Slurry).

Lechada Convencional Cabeza (Lead Slurry)		
Lead Slurry	Cantidad	Unid
Cemento	168	Sx
Agua	47	Bbl
D-Air 3000L	2	Gal
Bentonita	221	Lb
CaCl ₂	442	Lb

Fuente: elaboración propia, basado en: plan de cementación de la prestadora de Servicios.

Tabla 4. Composición de la lechada convencional (Tail Slurry).

Lechada Convencional Cola (Tail Slurry)		
Lead Slurry	Cantidad	Unid
Cemento	220	Sx
Agua	26	Bbl
D-Air 3000L	3	Gal
CaCl ₂	66	Lb

Fuente: elaboración propia, basado en: plan de cementación de la prestadora de Servicios.

Cabe resaltar que para esta investigación sólo se tendrá en cuenta los datos obtenidos en las pruebas fisicoquímicas para la sección Tail de la lechada

convencional como referencia para la lechada Step, debido a que la sección Lead se emplea para barrido, es decir, para retirar el fluido (lodo) y recortes que quedan de la perforación.

2.2.2 Datos de densidad. A continuación, en **Tabla 5** se mostrarán los datos de densidad para la lechada convencional tanto para Lead como Tail.

Tabla 5. Datos de Densidad para la lechada convencional.

Densidad (ppg)	
Cabeza (Lead)	Cola (Tail)
12.6	15.8

Fuente: elaboración propia, basado en: plan de cementación de la prestadora de Servicios.

2.2.3 Datos de Resistencia a la compresión. Posteriormente se mostrarán los datos obtenidos por la prestadora de servicios para la resistencia a la compresión de una lechada convencional evaluados a diferentes tiempos tanto para Lead como para Tail. Estos datos se pueden evidenciar para 8 horas en la **Tabla 6**, para 12 horas en la **Tabla 7** y para 24 horas en la **Tabla 8**.

Tabla 6. Resistencia a la compresión/8 horas.

Resistencia a la compresión (psi)	
Cabeza (Lead)	Cola (Tail)
161	807

Fuente: elaboración propia, basado en: plan de cementación de la prestadora de Servicios.

Tabla 7. Resistencia a la compresión/12 horas.

Resistencia a la compresión (psi)	
Cabeza (Lead)	Cola (Tail)
257	1357

Fuente: elaboración propia, basado en: plan de cementación de la prestadora de Servicios.

Tabla 8. Resistencia a la compresión/ 24 horas.

Resistencia a la compresión (psi)	
Cabeza (Lead)	Cola (Tail)
420	2244

Fuente: elaboración propia, basado en: plan de cementación de la prestadora de Servicios.

2.2.4 Datos de tiempo de bombeabilidad o tiempo de espesamiento.

Posteriormente en la **Tabla 9** se mostrará el tiempo de espesamiento para una lechada convencional con sus respectivos datos de consistencia arrojados por el equipo, es decir, 30, 50 y 70 representados en unidades Bearden tanto para Lead así como para Tail.

Tabla 9. Tiempo de espesamiento.

Tiempo de espesamiento			
Cabeza (Lead)		Cola (Tail)	
Bc	Tiempo (min)	Bc	Tiempo (min)
30	212	30	163
50	212	50	181
70	225	70	198

Fuente: elaboración propia, basado en: plan de cementación de la prestadora de Servicios.

2.2.5 Datos de agua libre. A continuación, en la **Tabla 10**, se mostrará el porcentaje de agua libre obtenido para una lechada convencional.

Tabla 10. Propiedades de la lechada: Agua libre.

Porcentaje de agua		
	% agua Cabeza (Lead)	% agua Cola (Tail)
Temperatura (°F)		
90	<0.088	<1.4

Fuente: elaboración propia, basado en: plan de cementación de la prestadora de Servicios.

2.2.6 Datos de pérdida de fluido. Posteriormente en la **Tabla 11** se evidencia la cantidad de pérdida de filtrado en ml obtenidos al cabo de 30 minutos por el equipo Fluid Loss para una lechada convencional.

Tabla 11. Pérdida de Fluido

Pérdida de fluido	
Tiempo (min)	Filtrado (ml)
30	0

Fuente: elaboración propia, basado en: plan de cementación de la prestadora de Servicios.

2.2.7 Datos de propiedades Reologicas. A continuacion en la Tabla 12 se mostraran los datos reologicos de dos lecturas y una lectura promedio L1, L2 y Lp para 5 velocidades (RPM), que en este caso son 300, 200, 100, 6 y 3 suministrados por la prestadora de servicios para una lechada convencional.

Tabla 12. Perfil reologico (Lechada convencional Lead)

Lechada Convencional Cabeza (Lead)					
Lectura	3 (rpm)	6 (rpm)	100 (rpm)	200 (rpm)	300 (rpm)
L1	17	25	45	54	62
L2	18	27	50	57	62
Lp	18	26	48	56	62

Fuente: elaboración propia, basado en: plan de cementación de la prestadora de Servicios.

Tabla 13. Perfil reologico (Lechada convencional Tail)

Lechada Convencional Cola (Tail)					
Lectura	3 (rpm)	6 (rpm)	100 (rpm)	200 (rpm)	300 (rpm)
L1	17	25	55	69	84
L2	19	26	57	73	84
Lp	18	26	56	71	84

Fuente: elaboración propia, basado en: plan de cementación de la prestadora de Servicios.

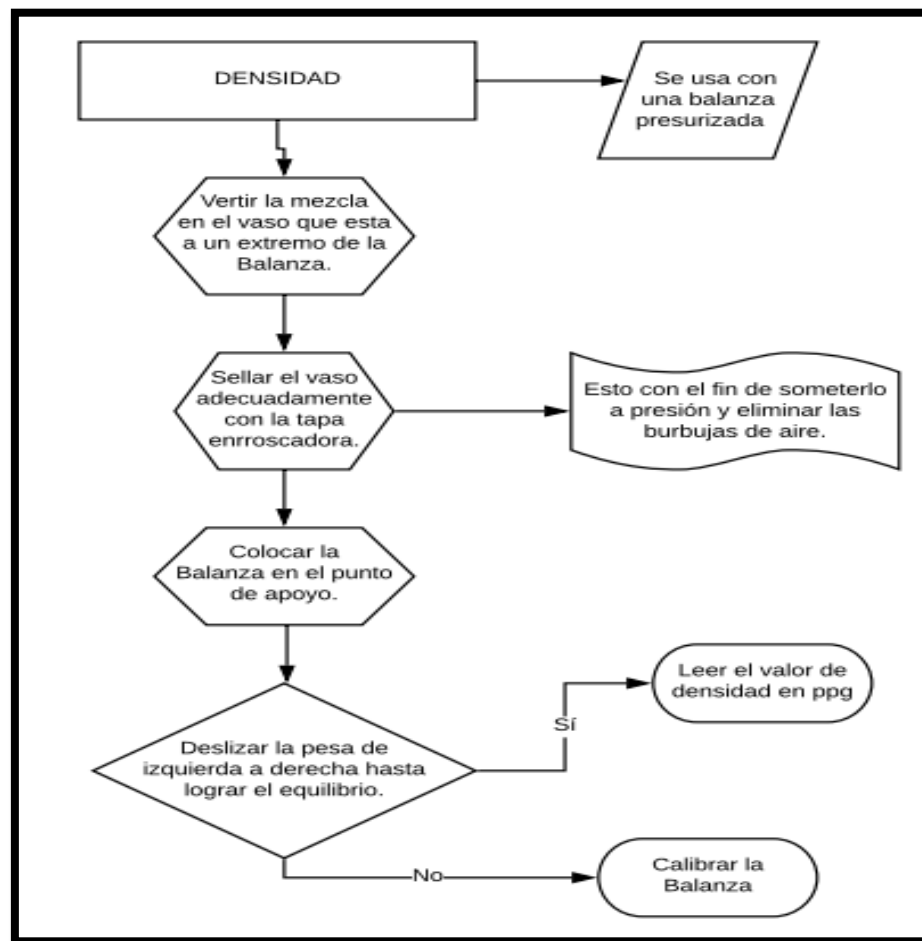
2.3 EVALUACIÓN EXPERIMENTAL

La evaluación experimental consiste en realizar unas pruebas fisicoquímicas con su respectivo procedimiento para la lechada Step las cuales se describirán a continuación, siendo estas; la densidad de la lechada, la resistencia a la

compresión, la bombeabilidad o tiempo de espesamiento, la pérdida de fluido, el agua libre y las propiedades reológicas:

2.3.1 Densidad de la lechada: el rango varía entre 11 y 18,5 ppg, teniendo en cuenta como referencia la densidad del agua que es 8,34 ppg y la gravedad específica del cemento clase G que es 3.18⁴⁰ datos que se usaron para llevar a cabo dicha prueba en el laboratorio realizando 3 réplicas pertinentes y posteriormente calcular un promedio. El procedimiento de esta prueba se muestra a continuación en la **Figura 11**.

Figura 11. Procedimiento para determinar la Densidad de la Lechada.



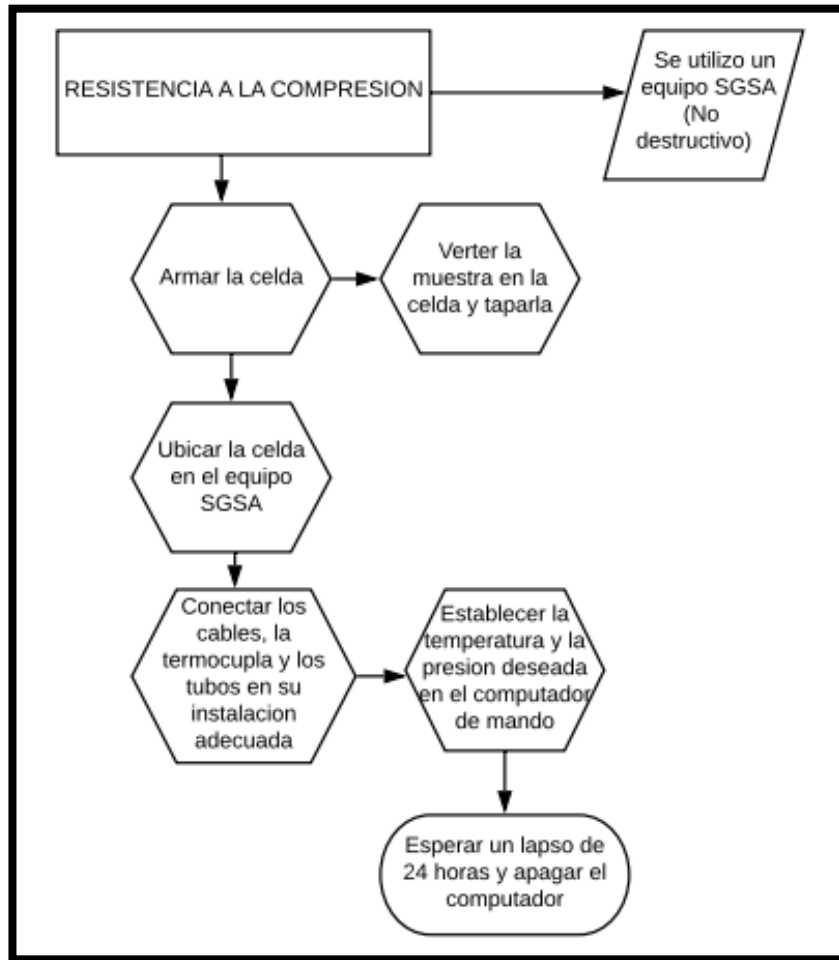
Fuente: elaboración propia, basado en: MESA C, PINZON J. Evaluación técnico-financiera del uso de nanomateriales en lechadas de cemento para revestimiento de producción en campo Castilla, a nivel de laboratorio [en línea]. Tesis. Fundación

⁴⁰ SCHLUMBERGER, Op., Cit., Pág. 9

Universidad de América, Bogotá, Colombia: 2016 [Consultado 16, MARZO 2020]. Disponible en: <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/638/1/5111687-2016-2-IP.pdf>

2.3.2 Resistencia a la compresión: esta propiedad se realiza bajo el ensayo no destructivo debido a que la muestra utilizada no tiene contacto directo con la presión, se manejan condiciones de presión hasta de 3000 psi y temperatura estática, analizando su resistencia en 3 tiempos diferentes; 8 horas, 12 horas y 24 horas y de igual forma llevando a cabo 3 réplicas para cada tiempo. El procedimiento de esta prueba se muestra a continuación en la **Figura 12**.

Figura 12. Procedimiento para determinar la Resistencia a la Compresión.

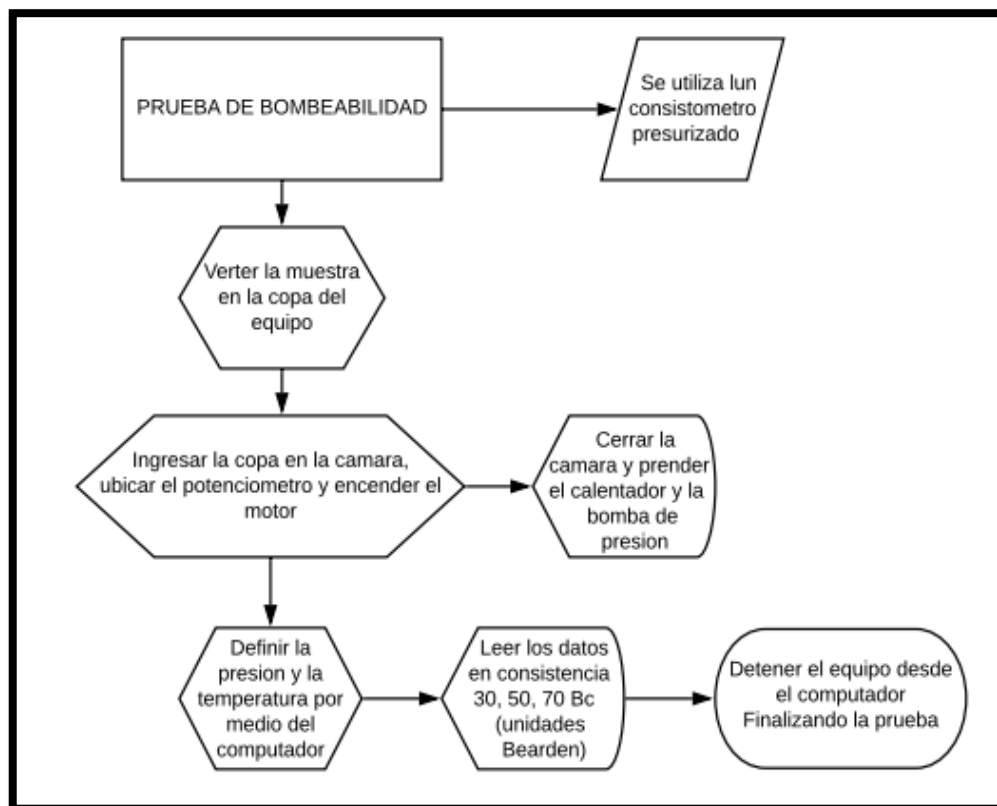


Fuente: elaboración propia, basado en: MESA C, PINZON J. Evaluación técnico-financiera del uso de nanomateriales

en lechadas de cemento para revestimiento de producción en campo Castilla, a nivel de laboratorio [en línea]. Tesis. Fundación Universidad de América, Bogotá, Colombia: 2016 [Consultado 16, MARZO 2020]. Disponible en: <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/638/1/5111687-2016-2-IP.pdf>

2.3.3 Bombeabilidad o tiempo de espesamiento: en esta prueba se manejan unidades de consistencia Bearden (Bc) y comúnmente al llegar a los 100 Bc finaliza la prueba, según el Manual de Fluidos de Perforación. En este caso la prueba llegó a los 70 Bc debido a que la capacidad de bombeo comenzó a cesar, sin embargo, se tomaron datos a los 30 Bc, 50 Bc y 70 Bc, teniendo presente que se realizaron 3 réplicas para cada unidad descrita anteriormente, la presión máxima empleada para esta prueba será 400 psi debido a que el yacimiento presenta un gradiente subnormal por estar encima del nivel del mar y en el mismo caso la temperatura máxima será 90 °F debido a que es más baja que la presión de fondo estática. El procedimiento de esta prueba se muestra a continuación en la **Figura 13**.

Figura 13. Procedimiento para determinar la bombeabilidad o tiempo de espesamiento.

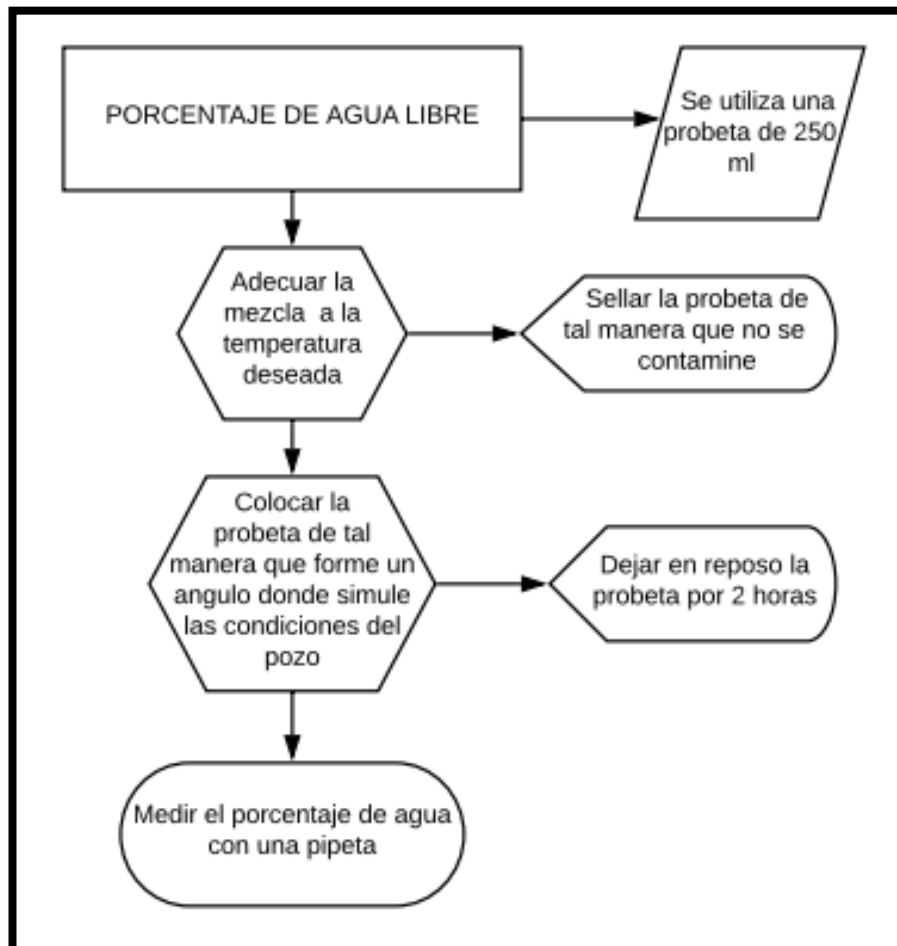


Fuente: elaboración propia, basado en: MESA C, PINZON J. Evaluación técnico-financiera del uso de nanomateriales en lechadas

de cemento para revestimiento de producción en campo Castilla, a nivel de laboratorio [en línea]. Tesis. Fundación Universidad de América, Bogotá, Colombia: 2016 [Consultado 16, MARZO 2020]. Disponible en: <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/638/1/5111687-2016-2-IP.pdf>

2.3.4 Agua libre: para llevar a cabo esta prueba es necesario dejar reposar una cantidad de cemento en una probeta de 250 ml teniendo presente que el tiempo óptimo como condición de espera es de 2 horas, hay que tener en cuenta que el valor máximo permitido de agua libre es de 1.4 % según la norma API. El procedimiento de esta prueba se muestra a continuación en la **Figura 14**.

Figura 14. Procedimiento para determinar el agua libre

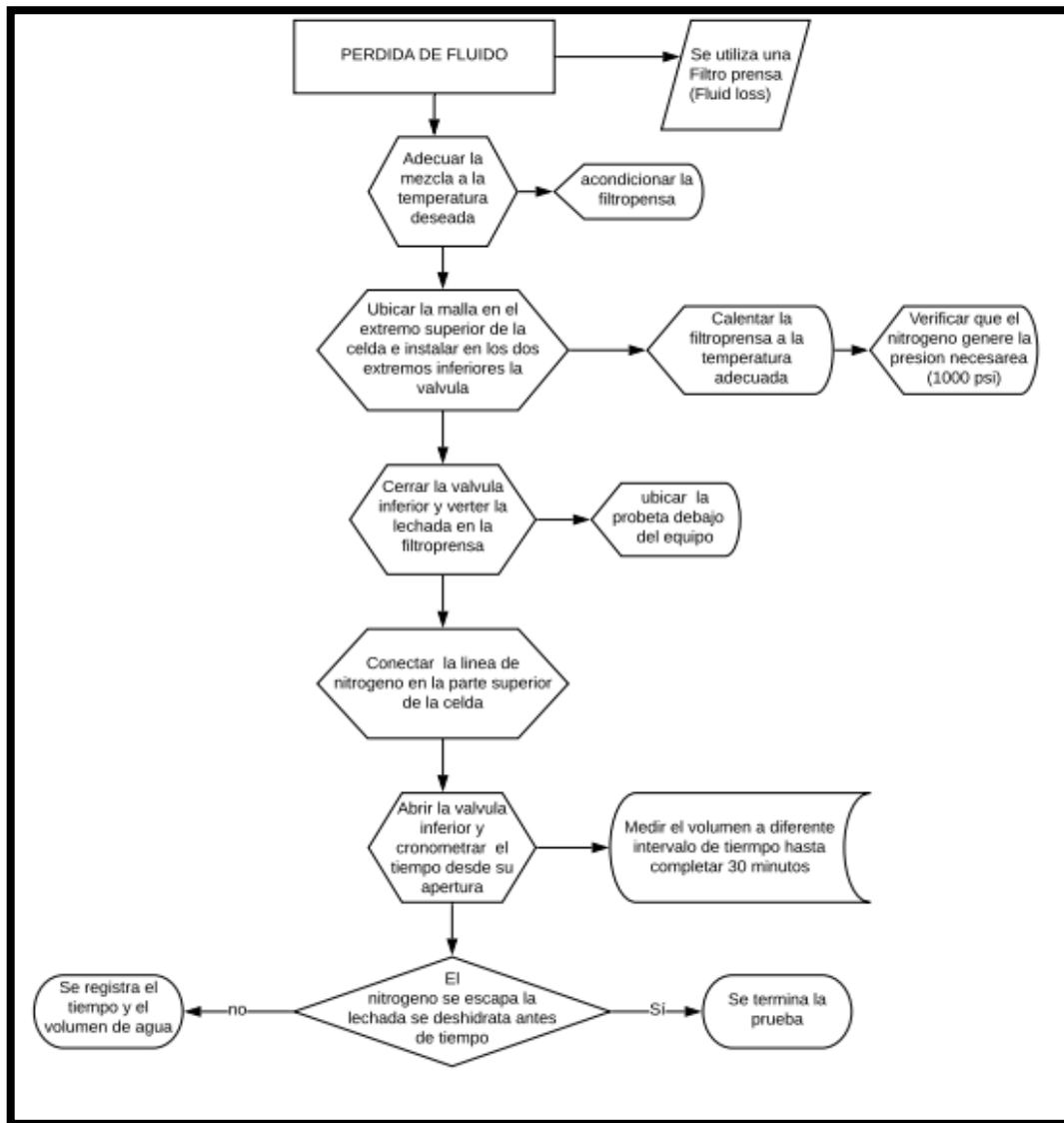


Fuente: elaboración propia, basado en: MESA C, PINZON J. Evaluación técnico-financiera del uso de nanomateriales en

lechadas de cemento para revestimiento de producción en campo Castilla, a nivel de laboratorio [en línea]. Tesis. Fundación Universidad de América, Bogotá, Colombia: 2016 [Consultado 16, MARZO 2020]. Disponible en: <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/638/1/5111687-2016-2-IP.pdf>

2.3.5 Pérdida de fluido: para esta cementación, el rango de pérdida óptimo de fluido debe ser de 25 a 50 ml según el plan de cementación de la prestadora de servicios y esta cantidad de agua deshidratada de la lechada es por cada 30 minutos que dura la prueba multiplicados por dos, por ende, se realiza esta prueba a una condición de temperatura de 90°F realizando 3 réplicas. El procedimiento de la misma se muestra a continuación en la **Figura 15**.

Figura 15. Procedimiento para determinar la Pérdida de Fluido.



Fuente: elaboración propia, basado en: MESA C, PINZON J. Evaluación técnico-financiera del uso de nanomateriales en lechadas de cemento para revestimiento de producción en campo Castilla, a nivel de laboratorio [en línea]. Tesis. Fundación Universidad de América, Bogotá, Colombia: 2016 [Consultado 16, MARZO 2020]. Disponible en: <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/638/1/5111687-2016-2-IP.pdf>

2.3.6 Propiedades reológicas: estas pruebas se realizan a presión atmosférica y temperatura de 90 °F según el plan de cementación de la prestadora de servicios, teniendo en cuenta como propiedades reológicas la Viscosidad Plástica, el Punto de Cedencia y el Esfuerzo de Geles. Esta prueba se realiza a velocidades en RPM

de 300, 200, 100, 6 y 3 con el fin de poder determinar las propiedades anteriormente mencionadas, se emplearon las siguientes ecuaciones:

Ecuación 1. Ecuación de Viscosidad Plástica.

$$V_p: \text{Lectura a } 100\text{rpm} - \text{Lectura a } 6\text{rpm} = \theta_{100} - \theta_6$$

Fuente: elaboración propia, basado en: plan de cementación de la prestadora de servicios.

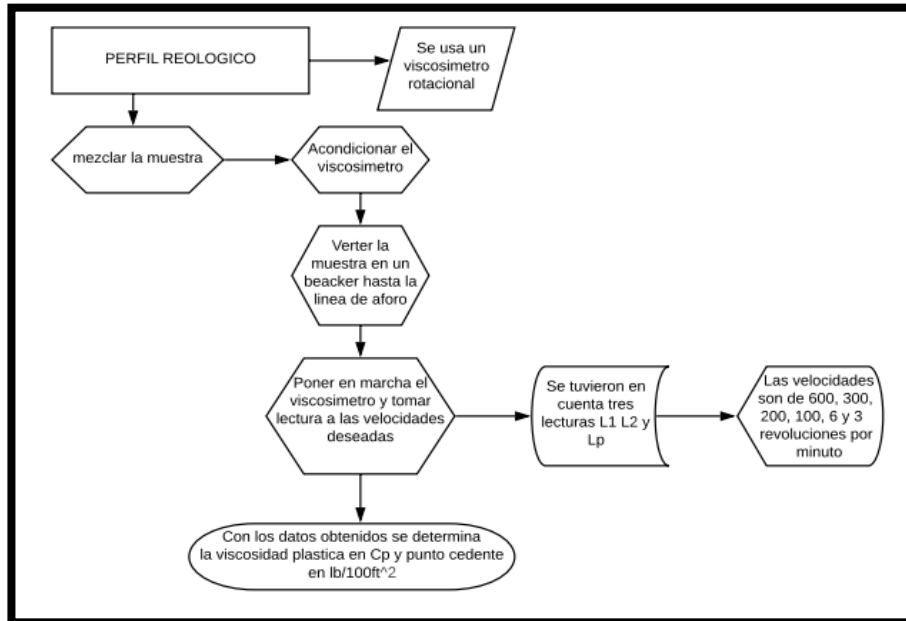
Ecuación 2. Ecuación de Punto Cedente (Yield Point).

$$YP = \text{Lectura a } 300\text{rpm} - V_p = \theta_{300} - V_p$$

Fuente: Perfoblogger, Julio 8 del 2015. [en línea] disponible en: <http://perfob.blogspot.com/2015/07/que-es-el-punto-cedente.html>

El procedimiento respectivo se muestra a continuación en la **Figura 16**.

Figura 16. Procedimiento para determinar las propiedades reológicas



Fuente: elaboración propia, basado en: MESA C, PINZON J. Evaluación técnico-financiera del uso de nanomateriales en lechadas de cemento para revestimiento de producción en campo Castilla, a nivel de laboratorio [en línea]. Tesis. Fundación Universidad de América, Bogotá, Colombia: 2016 [Consultado 16, MARZO 2020]. Disponible en: <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/638/1/5111687-2016-2-IP.pdf>

2.4 EVALUACIÓN COMPARATIVA

En este apartado se evaluará la comparación de los resultados obtenidos en cada una de las pruebas realizadas para la lechada Step con relación a la lechada convencional como se evidencia en el **Cuadro 4**.

Cuadro 4. Evaluación comparativa de cada prueba fisicoquímica.

Pruebas	Comparativa
Densidad de la lechada	
Resistencia a la compresión	
Bombeabilidad o tiempo de espesamiento	Se evaluará la comparación de los resultados obtenidos en cada una de las réplicas realizadas para la lechada Step con respecto a la lechada convencional.
Agua libre	
Perdida de fluido	
Propiedades reológicas	

Fuente: elaboración propia.

2.5 EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO

Evaluar el desempeño de la lechada Step, teniendo en cuenta la comparación de los resultados obtenidos en cada una de las pruebas realizadas en el laboratorio tanto para la lechada Step como para la lechada convencional, es decir, la densidad de la lechada, la resistencia a la compresión, el tiempo de bombeabilidad o espesamiento, el agua libre, la pérdida de fluido y las propiedades reológicas, considerando los rangos óptimos suministrados por el plan de cementación para que una lechada sea apta. Cabe resaltar que la propiedad que no se encuentre dentro del rango óptimo requerido por la empresa Holsan S.A.S., se clasifica como no apta como se evidencia en el **Cuadro 5**.

Cuadro 5. Rangos óptimos para una lechada apta, propiedad de reología.

Rangos óptimos para una lechada		
Propiedad	Mínimo Óptimo	Máximo Óptimo
Densidad de la lechada	11 ppg	18.5 ppg
Resistencia a la compresión	210 psi	-
Tiempo de espesamiento	98 min	846 min
Agua Libre	0%	20%
Pérdida de Fluido	0ml/30min	25ml/30min

Fuente: elaboración propia, basado en: plan de cementación de la prestadora de servicios

Cuadro 6. Rangos óptimos para una lechada apta, propiedad de reología.

Rangos óptimos para una lechada apta				
300 Rpm	200 Rpm	100 Rpm	6 Rpm	3 Rpm
84	71	56	26	18

Fuente: elaboración propia, basado en: plan de cementación de la prestadora de servicios

Cuadro 7. Rango óptimo de la viscosidad plástica, propiedad de reología.

Viscosidad plástica por el método tradicional (100 Rpm y 6 Rpm)	
Vp (centipoise)	30

Fuente: elaboración propia, basado en: plan de cementación de la prestadora de servicios

2.6 EVALUACIÓN ECONÓMICA

Analizar la viabilidad financiera mediante el indicador costo-beneficio del diseño de una lechada Step en comparación con la lechada convencional, teniendo presente los costos operacionales y los beneficios a obtener en el proyecto para la empresa Holsan S.A.S. Para esto es importante reconocer los costos tangibles de la investigación con respecto a precios de bienes o equipos del proyecto, gastos operativos, seguros e impuestos, entre otros, también es importante tener presente los costos intangibles, como el costo del tiempo empleado en el proyecto y el costo de la energía utilizada. Luego se analizan los beneficios del proyecto en relación a los ingresos producidos, el dinero ahorrado y el interés acumulado para finalmente efectuar una comparación e identificar si el proyecto es viable o no para la empresa.

A continuación, se evidencian los costos operacionales del proyecto:

2.6.1 Costos operacionales

- Costos de equipos de superficie para la cementación de la sección de 9 5/8" en Campo Guando.
- Costo de equipos de fondo para cementación de la sección de 9 5/8" en Campo Guando.
- Costo del personal para la cementación de la sección de 9 5/8" en Campo Guando.

- Costo de pruebas fisicoquímicas en el laboratorio.
- Costo de la lechada convencional y la lechada Step.

Para realizar esta evaluación financiera se empleó la ecuación relación costo-beneficio (**Ecuación 3**)

Ecuación 3. Fórmula de relación costo-beneficio.

$$B/C = \frac{\frac{\Sigma \text{Flujo de caja}}{(1 + TIO)^{\text{año}}}}{\text{Inversión}}$$

Fuente: UCAÑA LEYTON. Roger. Cálculo de la relación beneficio costo. [en línea] disponible en: <https://www.gestiopolis.com/calculo-de-la-relacion-beneficio-coste/>

La rentabilidad del proyecto se definirá cuando la relación beneficio-costo sea mayor que 1, sabiendo que si es menor el proyecto no sería rentable según la evaluación económica de proyectos.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Este capítulo tiene por objeto evidenciar los resultados y los respectivos análisis para cada uno de los parámetros fisicoquímicos determinados experimentalmente en el laboratorio para la lechada Step, todas estas pruebas se realizaron con la colaboración de la empresa Holsan y su laboratorio en Tocancipa, así como también, la colaboración de los laboratorios Cementos La Floresta y Tucker Energy Services S.A. La finalidad de estos resultados es compararlos con los valores suministrados, por una prestadora de servicios de Colombia y de igual forma verificar su desempeño luego de obtener dicha comparación, con el fin de establecer rangos óptimos de operación de la lechada Step formulada a base de nanotecnología.

3.1 RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS FISICOQUÍMICAS

A continuación, se darán a conocer los resultados obtenidos en cada una de las pruebas realizadas a la lechada Step, teniendo en cuenta el porcentaje de error absoluto que se determinó por medio del cálculo de error absoluto y relativo en términos de sensibilidad del equipo⁴¹, con sus respectivas gráficas y evaluación de desempeño, teniendo en cuenta que para esta prueba fue necesario realizar replicar 3 réplicas para confirmar la veracidad de los datos.

3.1.1 Datos de densidad. A continuación, en la **Tabla 14** se mostrarán los datos de densidad para la lechada Step.

Tabla 14. Datos de densidad.

Densidad lechada Step (ppg)				Densidad (ppg) lechada convencional
Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3	Dato Promedio	Dato
15.8	15.8	15.8	15.8	15.8

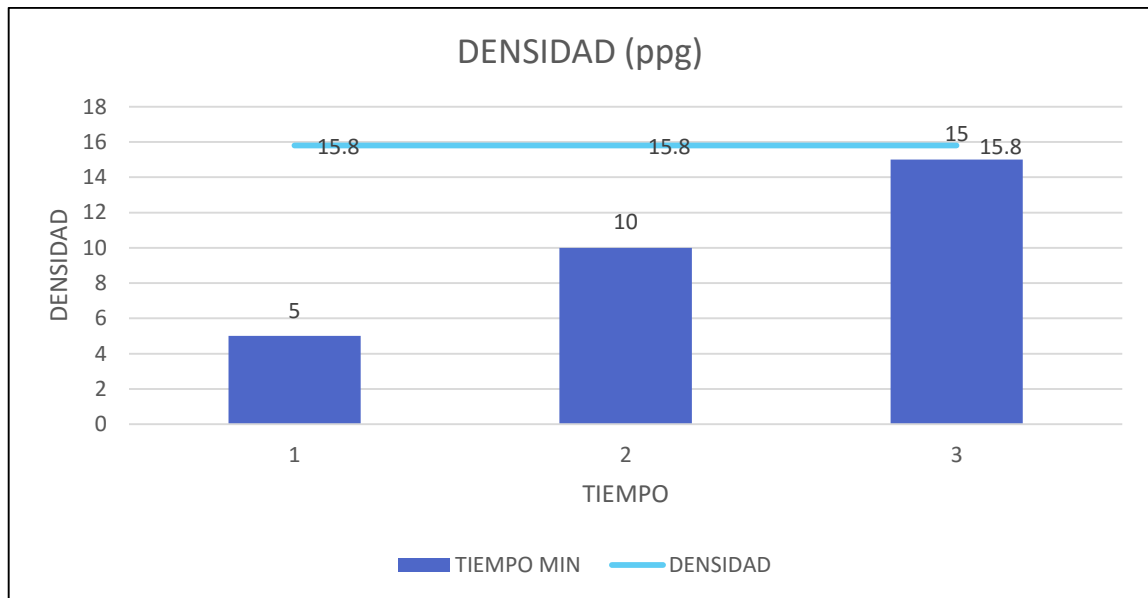
Fuente: elaboración propia.

Los datos de prueba de densidad se encuentran entre el rango establecido por la prestadora encargada del plan de cementación, indicando que esta prueba es apta.

⁴¹ Israel, M. octubre 2 del 2017, Calculo de error absoluto y relativo. [video en línea] disponible en: https://www.youtube.com/watch?v=bhICrzn_rGU

A continuación, la **Gráfica 1** evidencia el comportamiento de la lechada convencional y el comportamiento de la lechada Step respecto a la temperatura.

Gráfica 1. Comportamiento de la densidad de la lechada Step y la lechada convencional.



Fuente: elaboración propia.

La gráfica anterior indica una tendencia constante para la lechada convencional y para la lechada Step, es decir, significa que la densidad no cambia con respecto al tiempo de 5 min, 10 min y 15 min.

Teniendo en cuenta que el dato de densidad de la lechada Step se encuentra dentro del rango y que el porcentaje de error es de 0% hace que el desempeño de esta propiedad cumpla con los requisitos apropiados, debido a que es necesario que la densidad siempre tenga un valor mayor que no pase del rango establecido a la densidad del fluido de perforación que en este caso es de 9,8 ppg según el plan de cementación del Campo Guando y así mantener la presión hidrostática, esta propiedad es importante puesto que de esta depende la integridad del pozo con respecto a la formación, también es trascendental para un buen fragüe y que no haya influjos o espacios no cementados, con el fin de impedir que hayan daños en este proceso y haga de esta una propiedad apta para el proyecto.

3.1.2 Datos de Resistencia a la compresión. A continuación, en la **Tabla 15** se mostrarán los datos arrojados por el equipo SGSA al cabo de 8 horas, en la **Tabla 16** al cabo de 12 horas y en la **Tabla 17** al pasar 24 horas, esto con el fin de determinar la resistencia a la compresión de la lechada Step

Tabla 15. Resistencia a la compresión/8 horas.

Resistencia a la compresión lechada Step (psi)				Resistencia a la compresión lechada convencional (psi)
Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3	Dato promedio	Dato
233	227	230	230	807

Fuente: elaboración propia.

Tabla 16. Resistencia a la compresión/12 horas.

Resistencia a la compresión lechada Step (psi)				Resistencia a la compresión lechada convencional (psi)
Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3	Dato promedio	Dato
1587	1498	1615	1567	1357

Fuente: elaboración propia.

Tabla 17. Resistencia a la compresión/ 24 horas.

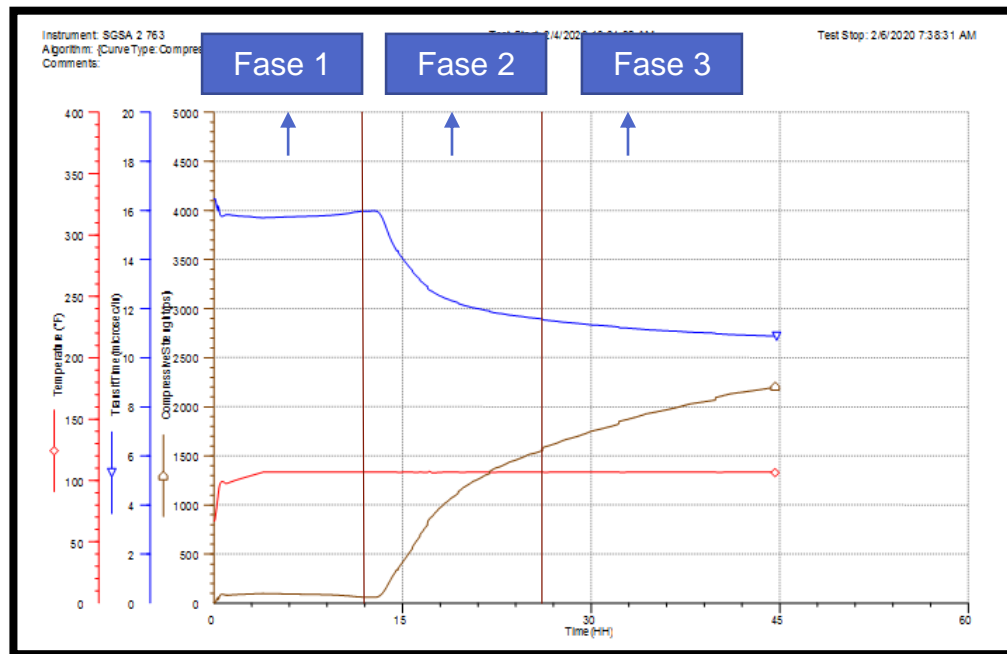
Resistencia a la compresión lechada Step (psi)				Resistencia a la compresión lechada convencional (psi)
Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3	Dato promedio	Dato
2356	2335	2372	2354,33	2244

Fuente: elaboración propia.

Los datos de prueba de resistencia a la compresión para la lechada Step se encuentran entre el rango establecido por la prestadora encargada del plan de cementación, siendo el menor valor de 230 psi con un porcentaje de error del 2% para un tiempo determinado de 8 horas indicando que esta prueba es apta. Se puede observar que a mayor tiempo hay una mayor resistencia, por ejemplo, a las 24 horas hay una compresión de 2354,33 con psi con un porcentaje de error del 1%

para la lechada Step en comparación a la lechada convencional que tiene una resistencia de compresión de 2244 psi. A continuación, en la **Gráfica 2** y en la **Gráfica 3**, se evidenciará el comportamiento de la lechada convencional y la lechada Step respecto a temperatura.

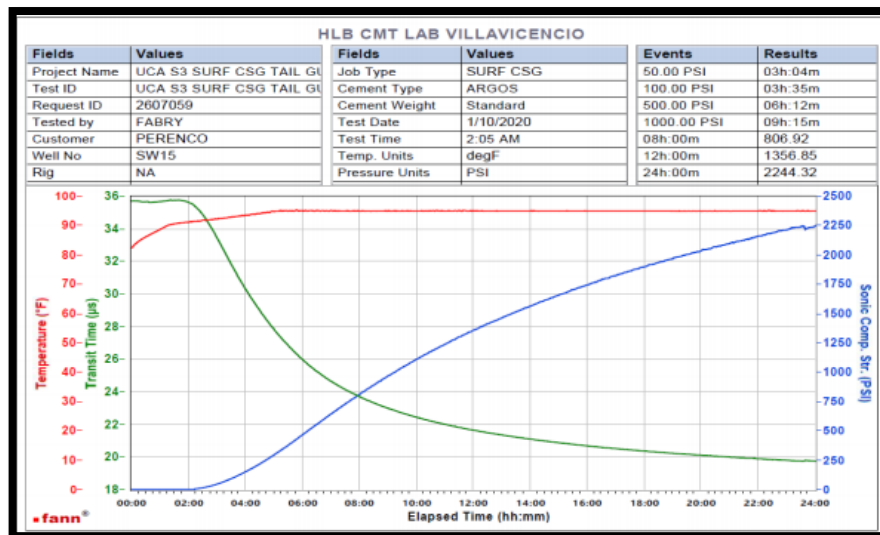
Gráfica 2. Resistencia a la compresión para la lechada Step.



Fuente: elaboración propia, basado en: Tucker Energy Services S.A.

En esta grafica se ve reflejada la tendencia de tres curvas para la lechada Step, donde la línea roja representa una temperatura de 105° F y es constante en todo el proceso sin afectar la línea de compresibilidad, la línea café es la compresión en psi y la línea azul es el tiempo transcurrido en horas de la prueba en la cual se evidencian tres fases en tres tiempos, siendo la primera fase una pasta plástica que concierne 8 horas transcurridas, este primer tiempo es una compresión ligera de 230 psi, la segunda fase es un periodo comprimido para 12 horas transcurridas este segundo tiempo es una compresión mediana de 1567 psi y finalmente se forma pasta rígida para 24 horas transcurridas que conlleva a un tercer tiempo que es una compresión concluyente de 2354 psi. El tiempo de esta prueba es directamente proporcional a la resistencia de la compresión debido a que entre mayor tiempo mayor debe ser la compresión, así mismo mejor la resistencia, y menos pérdidas operacionales en el cambio de fase, indicando ser una prueba apta para el proyecto.

Grafica 3. Resistencia a la compresión para la lechada convencional.



Fuente: elaboración propia, basado en: laboratorio Tucker Energy Services S.A.

En esta grafica se ve reflejada la tendencia de tres curvas para la lechada convencional, donde la línea roja corresponde a una temperatura de 95° F y es constante en todo el proceso sin afectar la línea de compresibilidad, la línea azul es compresión en psi y la línea verde el tiempo transcurrido en horas, teniendo en cuenta lo dicho anteriormente, el desempeño en esta lechada es menor debido a que la compresión es menor para el tiempo establecido en cada fase, es decir, lo que indica un mayor trabajo operacional.

3.1.3 Datos de tiempo de bombeabilidad o tiempo de espesamiento. A continuación, en la **Tabla 18** se evidencia el tiempo de espesamiento para la lechada Step, con sus respectivos datos de consistencia en 30, 50 y 70 unidades Bearden, y en la **Tabla 19** el dato de la lechada convencional, de igual forma se realizó 2 corridas para la veracidad de los datos.

Tabla 18. Tiempo de espesamiento para lechada Step.

Tiempo de espesamiento para lechada step				
Bc	Réplica 1 (min)	Réplica 2 (min)	Réplica 3 (min)	Dato (min)
30	401	400	404	401,67
50	415	416	415	415,33
70	424	425	421	423,33

Fuente: elaboración propia.

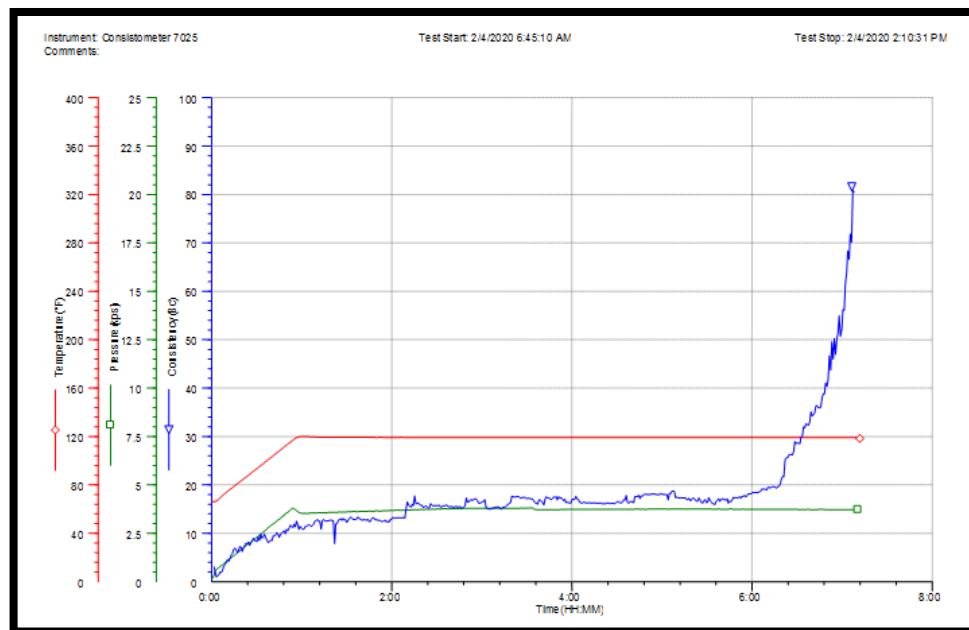
Tabla 19. Tiempo de espesamiento para lechada convencional.

Tiempo de espesamiento para lechada convencional	
Bc	Tiempo (min)
30	163
50	181
70	198

Fuente: elaboración propia.

Los datos de la prueba para la lechada Step de tiempo de espesamiento se encuentran entre el rango establecido por la prestadora encargada del plan de cementación, debido a que no sobrepasan el tiempo máximo que sería de 846 minutos y están por encima del tiempo mínimo, indicando que esta prueba es apta con un porcentaje de error del 2%. Sin embargo, la lechada convencional tiene un menor tiempo de bombeo para los datos de 30 Bc, 50Bc y 70Bc identificando un mejor desempeño en la lechada convencional a comparación con la lechada Step. A continuación, se mostrarán en la **Gráfica 4** y la **Gráfica 5** demostrando su comportamiento.

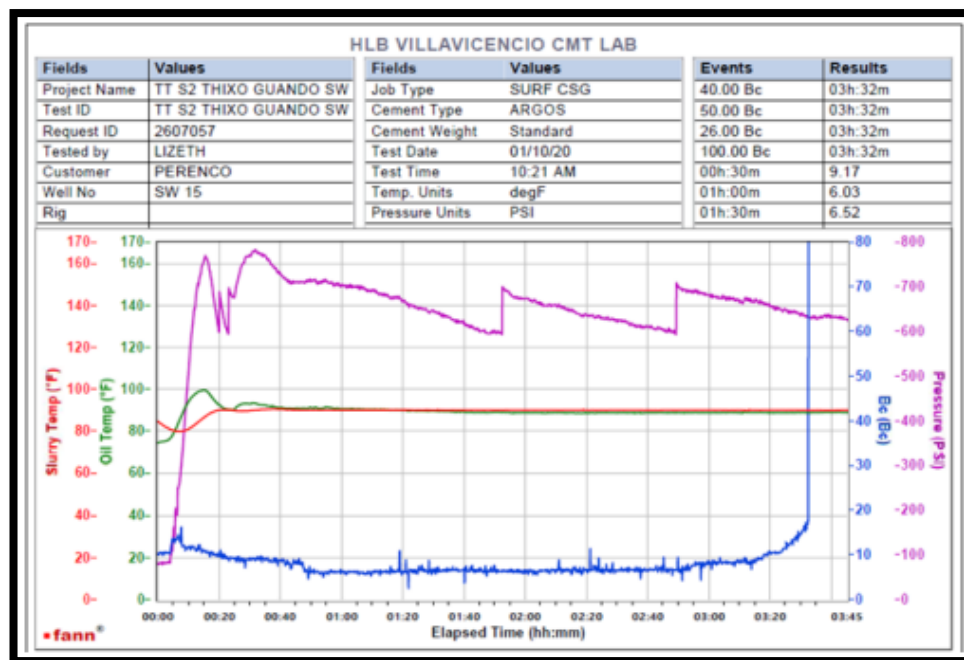
Gráfica 4. Tiempo de espesamiento para la lechada Step.



Fuente: elaboración propia, basado en: laboratorio Tucker Energy Services S.A.

En esta grafica se ve reflejada la tendencia de tres curvas para la lechada Step donde la línea roja es la temperatura a 120° F y es constante en todo el proceso sin afectar la línea de bombeabilidad, la línea azul es la consistencia en unidades Bc siendo esta una unidad directa de conversión a viscosidad y la línea verde es la presión en kp y su comportamiento en el tiempo transcurrido en minutos, el desempeño de esta propiedad depende de las operaciones de perforación y de la profundidad de la sección, debido a que en pozos someros la bombeabilidad es más factible en menor tiempo siendo que los problemas operativos serán menores. Para llevar a cabo este proyecto se tuvo en cuenta la profundidad del pozo que es de 1000 ft del plan de cementación para el Campo Guando y se contempló que no se tuvieron problemas operativos, razón por la cual se indicó que el tiempo debe ser menor para los datos de consistencia puesto que mejora el trabajo operacional, de lo contrario hay que tener en cuenta que el tiempo de bombeabilidad es importante para manejar factores alternos a los trabajos de perforación como taponamientos o daños en la herramienta, sin embargo, para este proyecto técnicamente es mejor el tiempo de bombeabilidad de la lechada convencional dado que muestra una diferencia de 225 minutos entre esta y la lechada Step.

Gráfica 5. Tiempo de espesamiento para la lechada convencional.



Fuente: elaboración propia, basado en: laboratorio Tucker Energy Services S.A.

En esta grafica se ve reflejada la tendencia de cuatro curvas para la lechada Convencional donde la línea roja representa la temperatura de 90 °F y es constante

transcurridos los primeros 20 minutos sin afectar la línea de bombeabilidad, la línea azul es la consistencia en Bc, la línea verde es la temperatura del crudo y por ultimo está el tiempo transcurrido en minutos y la línea morada es la presión que se usa para bombear la lechada convencional siendo esta aproximadamente de 600 psi, como se mencionaba anteriormente por diferencia de datos y por trabajos operativos del Campo Guando la lechada Step tiene un menor desempeño a comparación con lechada convencional, aun así es apta para el rango operativo, pero técnicamente no es viable para el proyecto.

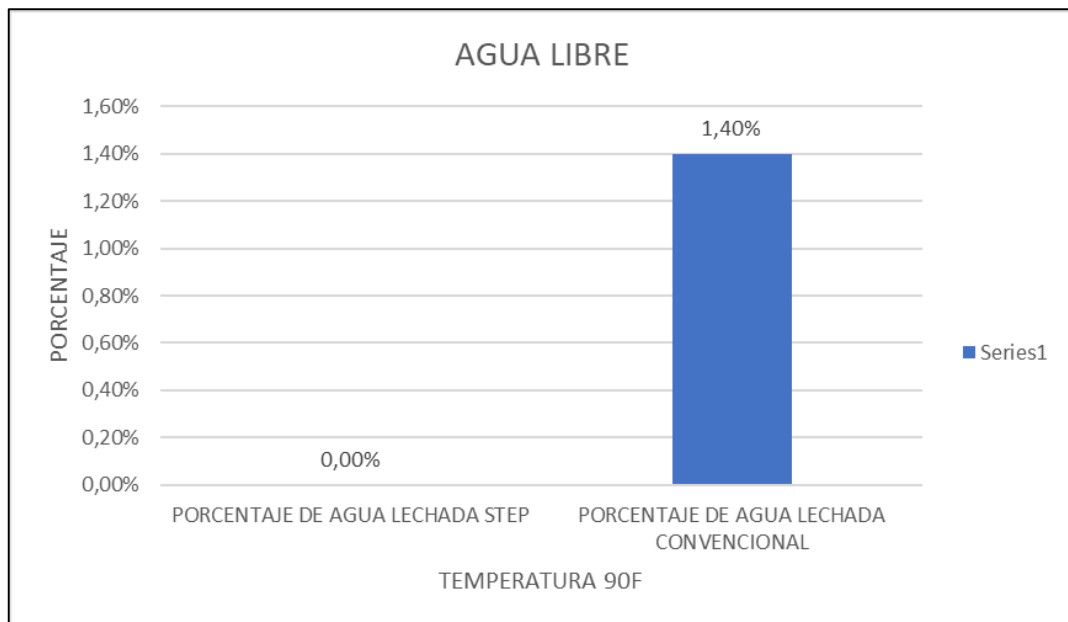
3.1.4 Datos de agua libre. A continuación, se mostrará el porcentaje de agua libre que se realizó con la probeta para la lechada Step, teniendo en cuenta un único dato por su resultado, y este se evidenciara en la **Gráfica 6** para su análisis.

Tabla 20. Agua libre.

Porcentaje de agua, lechada Step		Porcentaje de agua, lechada convencional
Temperatura (°F)	% agua	%agua
90	0	1,4

Fuente: elaboración propia.

Gráfica 6. Porcentaje de agua libre



Fuente: elaboración propia.

Los datos de la prueba de agua libre se encuentran entre el rango establecido por la prestadora de servicios encargada del plan de cementación, debido a que no sobrepasa el porcentaje máximo, lo que indica ser apta para los requerimientos establecidos. En comparación a la lechada convencional que es de 1.4%, la lechada Step es de mejor desempeño debido que al no tener la fase móvil (agua libre), excede el volumen requerido para hidratar la formación de cemento y que pueda incurrir en la fase permeable del pozo, es decir, tiene porcentaje cero de agua libre.

3.1.5 Datos de pérdida de fluido. A continuación, en la **Tabla 21**, se evidenciará la cantidad de perdida de filtrado en ml obtenidos por el equipo Fluid Loss al cabo de 30 minutos para la lechada Step, realizando 3 réplicas para su veracidad de información.

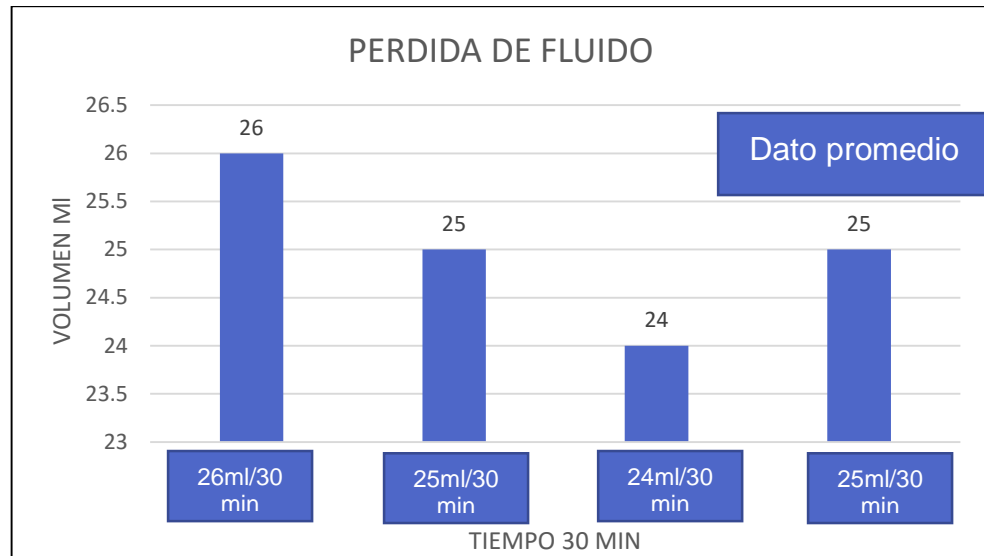
Tabla 21. Pérdida de Fluido.

Pérdida de fluido para lechada Step					Pérdida de fluido para lechada convencional
Tiempo(min)	Replica 1 Filtrado (ml)	Replica 2 Filtrado (ml)	Replica 3 Filtrado (ml)	Dato promedio Filtrado (ml)	Dato Filtrado (ml)
30	25	26	24	25	0

Fuente: elaboración propia.

Los datos de la prueba de perdida de fluido se encuentran entre el rango máximo establecido por la prestadora de servicios encargada del plan de cementación, indica ser apta en comparación con lechada convencional que es de 0 ml /30 min. La lechada Step tiene un menor desempeño debido a que tiene como perdida de fluido 25 ml /30 min y un porcentaje de error del 0.08%. A continuación, se evidenciará en la **Gráfica 7** su variación respecto al tiempo.

Gráfica 7. Pérdida de fluido para la lechada Step.



Fuente: elaboracion propia.

La gráfica anterior muestra un volumen de 25 ml a 30 min para la lechada Step, significando que se encuentra en el límite máximo del rango óptimo en comparación con la lechada convencional que no tiene volumen de filtrado, El volumen será directamente proporcional al tiempo indicando que el desempeño de esta va a radicar en un volumen mínimo de filtrado para un buen proceso debido a que un volumen alto y un mayor tiempo de pérdida de fluido puede traer consecuencias respecto a problemas operacionales como lo es a un fraguado rápido, debido a su deshidratación temprana. También evita que se forme una capa homogénea y que la formación cementada se vuelva permeable, debido a esto, se puede permitir influjos y dañar el proceso de cementación, es decir, que esta propiedad no es apta para el proyecto.

3.1.6 Datos de propiedades Reológicas. A continuación en la **Tabla 22** se mostrará los datos reológicos de dos lecturas y una lectura promedio L1, L2 y Lp para 5 velocidades en RPM; 300, 200, 100, 6 y 3 para la lechada Step y en la **Tabla 23** se evidenciará el perfil reológico para la lechada convencional.

Tabla 22. Perfil reológico (Lechada Step).

Lechada Step					
Lectura	3 (rpm)	6 (rpm)	100 (rpm)	200 (rpm)	300 (rpm)
L1	18	32	110	141	202
L2	15	30	106	140	202
Lp	17	31	108	141	202

Fuente: elaboracion propia.

Tabla 23. Perfil reológico (Lechada convencional).

Lechada convencional					
Lectura	3 (rpm)	6 (rpm)	100 (rpm)	200 (rpm)	300 (rpm)
L1	17	25	55	69	84
L2	19	26	57	73	84
Lp	18	26	56	71	84

Fuente: elaboracion propia.

En la **Tabla 24** se evidencia el modelo reológico, es decir la Viscosidad Plástica para la lectura de 100 RPM y 6 RPM para una Lechada Step y en la **Tabla 25** el modelo reológico para una lechada convencional.

Tabla 24. Modelo reologico (Lechada Step)

Modelo reológico	
Viscosidad plastica cp (método tradicional, lectura 100 rpm y 6 rpm)	77

Fuente: elaboracion propia

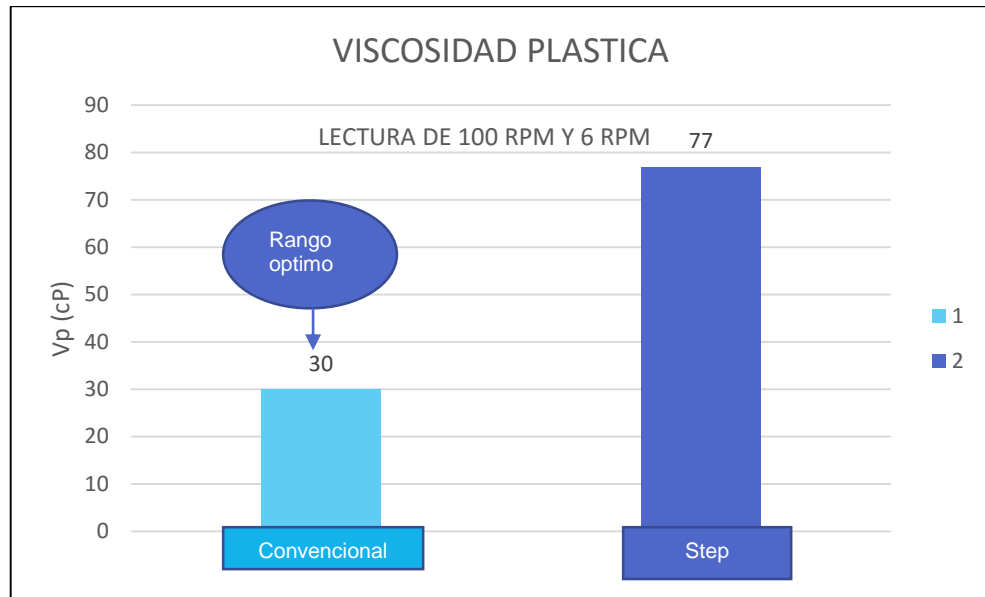
Tabla 25. Modelo reologico (Lechada convencional)

Modelo reológico	
Viscosidad plastica cp (método tradicional, lectura 100 rpm y 6 rpm)	30

Fuente: elaboracion propia

En la **Gráfica 8**, se evidencia el comportamiento de la viscosidad plástica en relacion a la velocidad en RPM para la lechada Step y la lechada convencional.

Gráfica 8. Viscosidad plastica



Fuente: elaboracion propia

Esta propiedad se analizó en términos de la viscosidad plástica, siendo este el valor máximo para un rango óptimo de una lechada apta. Puesto que la viscosidad plástica para la lechada step es de 77 cp es mayor que la viscosidad plástica de la lechada convencional que es de 30 cp, debido a su tixotropía se encuentra por fuera del parámetro, el desempeño de esta propiedad se ve contemplada en la plasticidad y la formación de geles, es decir, que tendrá un recorrido más complicado del sistema y por ende será más difícil la circulación de bombeo lo que indica que tiene una mayor concentración de sólidos, por esta razón el trabajo que cumple la lechada convencional tiene un mejor desenlace que en la lechada Step.

3.2 ANÁLISIS SOBRE LA VIABILIDAD TÉCNICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA LECHADA STEP

A continuación, en el **Cuadro 8** se evidencia el análisis que permite identificar que propiedad se encuentra sobre los requisitos establecidos por la prestadora de servicios y si son técnicamente viables para el proyecto.

Cuadro 8. Análisis sobre la viabilidad técnico para la implementación de la lechada Step.

Pruebas Fisicoquímicas	Lechada Step	Lechada Convencional
Densidad de la lechada	Estas tres propiedades se encuentran dentro del rango operativo suministrado por la prestadora de servicios. Cumplen con los requisitos establecidos en su desempeño	
Resistencia a la compresión	lo que las hace unas propiedades aptas, sin embargo, no son técnicamente viables para el proyecto.	La lechada convencional cumple los requisitos
Agua libre		apropiados en cada una de las propiedades,
Bombeabilidad o tiempo de espesamiento	Estas dos propiedades se encuentran dentro del rango operativo suministrado por la prestadora de servicios. Sin embargo no cumplen en su totalidad los requisitos para un buen desempeño, es decir, que no son técnicamente viables para el proyecto	siendo apta para los rangos óptimos establecidos por la prestadora de servicios, lo que significa que es técnicamente viable para el proyecto.
Pérdida de fluido		
Propiedades reológicas	Esta propiedad no se encuentra dentro del rango operativo suministrado por la prestadora de servicios, lo que significa que no es apta y por lo tanto su desempeño técnicamente no es viable para el proyecto	

Fuente: elaboración propia.

Para la empresa Holsan S.A.S una lechada debe cumplir con los rangos óptimos en la totalidad de sus pruebas y cumplir a cabalidad con los requisitos para obtener un buen desempeño, debido a que la lechada convencional tiene una mejor funcionalidad para el Campo Guando se definirá como lechada apta puesto que cumple con los requisitos establecidos por la norma ASTM C-150 y los requerimientos gestionados por el plan de cementación, es decir, la lechada Step no es técnicamente viable para este proyecto y no se tendrá en cuenta para contratos empleados por la empresa.

3.3 EVALUACIÓN FINANCIERA MEDIANTE EL INDICADOR COSTO-BENEFICIO

Esta evaluación permite analizar los beneficios que se pueden obtener en un proyecto de inversión, con el fin de identificar su viabilidad y rentabilidad luego de conocer los costos operacionales para una proyección a 2 años.

3.3.1 Cantidad de lechada Step a cementar en el Campo Guando. Se debe identificar la cantidad de lechada que se va a cementar al año en el Campo Guando, sabiendo que esta operación de cementación se realiza por una duración de 11 días, empleando aproximadamente 3 días para el casing de 9 5/8" con broca de 12" a 1000 ft y 2 pozos por mes, por ende, se realizan 20 corridas de la sección de 9 5/8" en el año.

Para cementar esta sección se bombean aproximadamente 107 barriles donde se determinó de la siguiente manera según el plan de cementación suministrado por la prestadora de servicios.

Lead Slurry (Lechada de Cabeza)

$$\text{Annular Hole Volume } 13.2'' - \text{Csg } 9.625'', (0.0792688 \text{ bbl/ft} * 598 \text{ ft}) = 47,40\text{Bbl}$$

$$\text{Excess } 30\% = 14.22 \text{ Bbl}$$

$$\text{Total} = 62 \text{ Bbl}$$

Tail Slurry (Lechada de Cola)

$$\text{Annular Hole Volume } 13.2'' - \text{Csg } 9.625'', (0.0792688 \text{ bbl/ft} * 400 \text{ ft}) = 31.70 \text{ bbl}$$

$$\text{Excess } 30\% = 9.51 \text{ Bbl}$$

$$\text{Shoe track Volume, Csg } 9.625'' (\text{ID } 8.681''), (0.07321 \text{ bbl/ft} * 43.31 \text{ ft}) = 3.17 \text{ bbl}$$

$$\text{Total} = 45 \text{ Bbl}$$

Volumen Total

$$62 + 45 = 107 \text{ Bbl}$$

Es importante aclarar que para esta investigación se tuvieron en cuenta las siguientes equivalencias:

1 Corrida de Sección de 9 5/8" equivale a 3 Días

1 Corrida de Sección 9 5/8" equivale a 3 Días y esto equivale a 107 Bbl

1 Mes equivale a 2 Corridas de Sección de 9 5/8"

Teniendo en cuenta que en el año se pueden presentar imprevistos o no realizar la operación de cementación con exactitud de 2 corridas por mes, por ejemplo, por complejidad del pozo, la relación de corridas será así:

1 Año equivale a 10 meses

1 Año equivale a 20 Corridas de Sección de 9 5/8"

*107 Bbl * 20 Corridas de Sección de 9 5/8" = 2140 Bbl/año*

Como la proyección será a 2 años este valor se multiplica por 2, así se obtendrá la cantidad a emplear de una lechada ya sea convencional o Step, puesto que, sin importar la composición de cada uno, esta relación se realiza con respecto al ahorro o incremento en la inversión del proyecto por el tiempo en que cada una se demora en fraguar.

$$\frac{2140 \text{ Bbl}}{\text{año}} * 2 \text{ años} = 4280 \text{ Bbl}$$

A continuación, en la **Tabla 26** se evidencia el costo para una lechada Step y para una lechada convencional en Bbl/USD teniendo en cuenta que estos costos son fijos en el tiempo por el corto tiempo de proyección.

Tabla 26. Costo de la lechada convencional y la lechada Step

Costo de la lechada Step precio (USD/Bbl)	Costo de la lechada convencional utilizada actualmente en el campo guando precio por (USD/Bbl)
134	117

Fuente: elaboración propia, basado en: plan de cementación de la prestadora de servicios.

Teniendo presente el precio por barril de cada lechada de cementación y la cantidad a emplear al año se hace la relación de costo a emplear de dicha sección en USD.

Para la lechada Step:

$$4280 \text{ Bbl} * 134 \frac{\text{USD}}{\text{Bbl}} = 573520 \text{ USD}$$

Para la lechada convencional:

$$4280 \text{ Bbl} * 117 \frac{\text{USD}}{\text{Bbl}} = 500760 \text{ USD}$$

3.3.2 Costos de equipos en superficie para la cementación de la sección de 9 5/8” en Campo Guando. Para este proyecto se tuvo en cuenta los costos de equipos empleados en superficie para la cementación de la sección de 9 5/8” del Campo Guando como se evidencia en la **Tabla 27**, teniendo en cuenta que estos costos son fijos en el tiempo.

Tabla 27. Costos de equipos de superficie para la cementación de la sección 9 5/8” en Campo Guando.

Equipos de superficie	Cantidad	Costo por unidad (USD)	USD
Set de cementación	1	1654	1654
Batch mixer	1	975	975
Movilización de equipos	1	3987	3987
Desmovilización de equipos	1	3987	3987
		Total	10603

Fuente: elaboración propia, basado en: plan de cementación de la prestadora de servicios.

Como estos equipos se utilizan aproximadamente por 3 días en bombear la sección de 9 5/8” para el Campo Guando, la conversión es la siguiente:

10603 USD equivale a 3 Días

$$10603 \text{ USD} * 20 \frac{\text{Coridas de Sección de } 9 \frac{5}{8}''}{\text{año}} = 212060 \text{ USD/año}$$

3.3.3 Costo de equipos de fondo para cementación de la sección 9 5/8” en Campo Guando. También se tuvo en cuenta los costos de equipos empleados en fondo cementación de la sección 9 5/8” en Campo Guando como se muestra a continuación en la **Tabla 28**.

Tabla 28. Costo de equipos de fondo para cementación de la sección 9 5/8” en Campo Guando.

Equipos de subsuelo	Cantidad	Costo por unidad (USD)	USD
Botton plug	1	700	700
Centralizador	8	95	400
Zapato convencional de 9 5/8”	1	1500	1500
Collar	1	1800	1800
Top plug	1	700	700
Stop ring	1	2600	2600
		Total	7700

Fuente: elaboración propia, basado en: plan de cementación de la prestadora de servicios.

Como estos equipos se utilizan aproximadamente por 3 días en bombear la sección de 9 5/8” para el Campo Guando, la conversión es la siguiente:

7700 USD equivale a 3 Días

$$7700 \text{ USD} * 20 \frac{\text{Coridas}}{\text{año}} = 154000 \text{ USD/año}$$

3.3.4 Costo del personal para la cementación de la sección 9 5/8” en Campo Guando. Teniendo en cuenta que en un proyecto de inversión es necesario identificar los costos totales, así como los ingresos netos en un tiempo específico, se tuvo en cuenta el costo del personal empleado para llevar a cabo el proyecto como se muestra a continuación en la **Tabla 29**.

Tabla 29. Costo del personal para la cementación de la sección 9 5/8” en Campo Guando.

Personal	Cantidad	Unidad	Costo por unidad (USD)	USD
Ingeniero de cementación	1	Día	40	40
Service supervisor	1	Día	32	32
Operador	1	Día	26	26
Asistentes	3	Día	19	57
Total				155

Fuente: elaboración propia, basado en: plan de cementación de la prestadora de servicios.

Como estos equipos se utilizan aproximadamente por 3 días en bombear la sección de 9 5/8” para el Campo Guando, la conversión es la siguiente:

155 USD equivale a 3 Días

$$155 \text{ USD} * 20 \frac{\text{Coridas}}{\text{año}} = 3100 \text{ USD/año}$$

3.3.5 Costo del alquiler de laboratorio empleado en la realización de las pruebas fisicoquímicas para la cementación de la sección 9 5/8” en Campo Guando. Se tuvo en cuenta el alquiler del laboratorio para realizar el análisis de cada una de las pruebas fisicoquímicas por el tiempo que dura la cementación para saber su costo al año, puesto que llevar a cabo la supervisión de dichas pruebas permite definir la eficacia de la lechada Step, estos datos se muestran a continuación en la **Tabla 30**.

Tabla 30. Costo de pruebas fisicoquímicas en el laboratorio.

Equipo de laboratorio	Prueba a realizar	Cantidad	Costo por unidad en (USD)	USD
Mixer	Mezclador	1	78,3	71,3
Balanza presurizada	Densidad	3	34	102
Sgsa	Resistencia a la compresión	1	112,1	112,1
Consistómetro presurizado	Tiempo de bombeabilidad	1	167,65	167,65
Fluid loss	Perdida de fluido	1	89	89
Viscosímetro rotacional	Pruebas de reología	2	223	446
Consistómetro atmosférico	Agua libre	1	62,02	62,02
			Total	1050,07

Fuente: elaboración propia, basado en: plan de cementación de la prestadora de servicios.

Como estos equipos se utilizan aproximadamente por 3 días en bombear la sección de 9 5/8" para el Campo Guando, la conversión es la siguiente:

1050,07 USD equivale a 3 Días

$$1050,07 \text{ USD} * 20 \frac{\text{Coridas de Sección de } 9 \frac{5}{8}}{\text{año}} = 21001,4 \text{ USD/año}$$

Finalmente se tuvieron en cuenta los costos varios que hacen referencia a transporte, hospedaje y alimentación del personal, mantenimiento de los equipos, entre otros costos adicionales que se verán reflejados a continuación, teniendo en cuenta que consta de 170 USD por aproximadamente 3 días que es el tiempo en que se demora en bombear la sección de 9 5/8" para el Campo Guando, entonces la conversión anual sería la siguiente:

170 USD equivale a 3 Días

$$170 \text{ USD} * 20 \frac{\text{Coridas}}{\text{año}} = 3400 \text{ USD/año}$$

Teniendo en cuenta los costos operacionales en relación a costos de equipos empleados en superficie y en fondo, costos de personal, costo de alquiler de laboratorio y costo de la cantidad de lechada a bombear, se obtuvo el costo total, para una lechada convencional evidenciado en la **Tabla 31** y para la lechada Step como de evidencia a continuación en la **Tabla 32**.

Tabla 31. Costo total para Lechada Step

Costo cantidad de lechada (USD)	573,520
Costo equipo en superficie (USD)	212,060
Costo equipo en fondo (USD)	154,000
Costo personal (USD)	3,100
Costo alquiler laboratorio (USD)	21,001
Costos varios (USD)	3,400
Costo total (USD)	967,081

Fuente: elaboración propia.

Tabla 32. Costo total para Lechada convencional

Costo cantidad de lechada (USD)	500,760
Costo equipo en superficie (USD)	212,060
Costo equipo en fondo (USD)	154,000
Costo personal (USD)	3,100
Costo alquiler laboratorio (USD)	21,001
Costos varios (USD)	3,400
Costo total (USD)	894,321

Fuente: elaboración propia.

Para el cálculo de los ingresos generados por el Campo Guando se consideró un valor promedio de 50 USD por barril de petróleo teniendo en cuenta que este valor es constante. Con este valor y la producción de los campos, equivalente a 24.000 USD, se calcularon los ingresos del campo, siendo el mismo para las dos lechadas.

$$\text{Ingresos (USD)} = \text{Producción} * \text{Precio de Bbl}$$

La inversión para el proyecto fue de 350.000 USD para la lechada Step y 250.000 USD para la lechada convencional y la tasa interna de oportunidad es del 20% en los dos casos para el proyecto según la evaluación económica de proyectos.

Para el flujo de caja se realizó la diferencia entre los ingresos y el costo total como se evidencia a continuación:

$$\text{Flujo de caja (USD)} = \text{Ingresos} - \text{Costo Total}$$

Teniendo en cuenta cada uno de los costos operacionales, la proyección a 2 años se puede determinar así:

$$\text{Proyección (Año 2)} = \text{Costo Operacional} * 1.02$$

Finalmente se presenta el cálculo de la relación beneficio costo en la **Tabla 33** para la lechada Step y en la **Tabla 34** para la lechada convencional.

Tabla 33. Relación beneficio-costo para la lechada Step.

Lechada Step		
	Año 1	Año 2
Producción (Bbl)	24000	24000
Ingresos (USD)	1,200,000	1,200,000
Costo cantidad de lechada (USD)	573,520	584,990
Costo equipo en superficie (USD)	212,060	216,301
Costo equipo en fondo (USD)	154,000	157,080
Costo personal (USD)	3,100	3,162
Costo alquiler laboratorio (USD)	21,001	21,421
Costos varios (USD)	3,400	3,468
Costo total (USD)	967,081	986,423
Flujo de caja (USD)	232,919	213,577
Inversión (USD)	350,000	
Tasa Interna de Oportunidad	20%	
Relación Beneficio- Costo	0.98	

Fuente: elaboración propia.

Tabla 34. Relación beneficio-costo para la lechada convencional.

Lechada Convencional		
	Año 1	Año 2
Producción (Bbl)	24,000	24,000
Ingresos (USD)	1,200,000	1,200,000
Costo cantidad de lechada (USD)	500,760	510,775
Costo equipo en superficie (USD)	212,060	216,301
Costo equipo en fondo (USD)	154,000	157,080
Costo personal (USD)	3,100	3,162
Costo alquiler laboratorio (USD)	21,001	21,421
Costos varios (USD)	3,400	3,468
Costo total (USD)	894,321	912,207
Flujo de caja (USD)	305,679	287,793
Inversión (USD)	250,000	
Tasa Interna de Oportunidad	20%	
Relación Beneficio- Costo	1.82	

Fuente: elaboración propia.

La rentabilidad del proyecto se define cuando la relación beneficio-costo es mayor que 1, sabiendo que si es menor el proyecto no sería rentable, por ende, se puede concluir que la lechada Step al tener un valor menor a 1 tiene más costos que beneficios, es decir, no es rentable para el tiempo proyectado, caso contrario con la lechada convencional que al ser mayor la relación beneficio-costo tiende a ser más rentable en su totalidad.

4. CONCLUSIONES

- La densidad tanto para la lechada Step como para la lechada convencional se encuentra dentro del mínimo y máximo óptimo que especifica la prestadora de servicios que opera en el Campo Guando, siendo esta una propiedad que permite mantener la integridad del pozo, evitar los influjos o espacios no cementados y además que sea una propiedad apta, mas no técnicamente rentable para la empresa Holsan S.A.S.
- La pérdida de fluido tuvo mayor volumen en mililitros al cabo de un tiempo de 30 minutos para la lechada Step, siendo este de 25 ml en comparación con la convencional que no tuvo perdida de fluido, este límite máximo en el rango óptimo para la lechada Step puede tener consecuencias negativas al obtener un tiempo de fraguado rápido por una deshidratación temprana, también puede evitar que se forme una capa homogénea y que la formación se vuelva permeable, además de permitir influjos y dañar el proceso de cementación, por ende, se considera una propiedad no apta y técnicamente inviable para el proyecto.
- El tiempo de bombeabilidad para la lechada Step no sobrepasa el límite de rango específico para que esta sea apta, sin embargo, tiende a ser mayor en comparación con la convencional por una diferencia de 4 horas aproximadamente, por ende, la lechada convencional sigue siendo la más rentable en referencia al tiempo de fraguado.
- La empresa Holsan S.A.S., clasifica una lechada apta, cuando todas las propiedades fisicoquímicas se encuentran dentro de los requisitos establecidos por el plan de cementación, teniendo en cuenta esto, la lechada Step no satisface con el rendimiento técnico ni económico, es decir, no es viable para llevar a cabo este proyecto.
- La lechada Step al tener una relación beneficio-costos de 0,98 en comparación con la lechada convencional que fue de 1.82, evidencia que financieramente no es rentable debido a que sus costos tienden a ser mayores que sus beneficios generando pérdidas para la empresa Holsan S.A.S.

5. RECOMENDACIONES

- Evaluar la lechada Step en diferentes secciones, con el fin de obtener varios resultados que se puedan comparar, debido a que la profundidad de la sección de 9 5/8" es de 1000 ft y la intención es comprender si a diferentes profundidades podría ser técnicamente viable o sigue siendo inviable.
- Evaluar la lechada Step a diferentes condiciones de temperatura y presión, puesto que estas son las especificadas por el plan de cementación para el Campo Guando, con el fin analizar las posibles reacciones en otra formación.
- Realizar experimentos en la formulación de la lechada Step utilizando otros componentes o aditivos que cumplan con las especificaciones de la norma ASTM C-150, con el fin de mejorar su estabilidad y contribuir en el diseño de nuevos proyectos.
- Evaluar la lechada Step en pozos en etapa de abandono o donde existan problemas de taponamientos, daños en la herramienta o problemas en el zapato, con el fin de realizar un posible Side Track que disminuya el tiempo de bombeabilidad, siendo esta la opción que permita manejar los problemas operativos, sin afectar los costos operativos.

BIBLIOGRAFÍA

CANDELA S, CARLOS E. Evaluación técnico-financiera del uso de aditivos a base de nanotecnología para la mejora del rendimiento en un fluido de perforación base agua a nivel de laboratorio [en línea]. Tesis. Fundación Universidad de América, Bogotá, Colombia: 2018 [Consultado 20, octubre 2019]. Disponible en: <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7344/1/5132716-2019-1-IP.pdf>

CRUZ S, JUAN F. Nanotecnología Aplicada a la Industria Petrolera [en línea]. Tesis. Universidad nacional autónoma de México, México: 2013 [Consultado 21, marzo 2020]. Disponible en: <http://oilproduction.net/files/Nanotecnologia%20en%20la%20industria%20del%20petroleo-UNAM.pdf>

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA, *et al.* Glosario, Siglas y Abreviaturas del Subsector Hidrocarburos DECRETO SUPREMO N° 032-2002-EM Publicado en el Diario El Peruano el 23/10/2002 Modificaciones. [Consultado 1, mayo 2019].

Estrucplan Consultora SA. [Consultado 9, febrero 2020]. Disponible en: <https://estrucplan.com.ar/category/producciones/p-geologia/enciclopedia-geologica-basica/>

GASPAR-TÉBAR, Demetrio. Normalización del cemento. Tiempo de fraguado: algunos comentarios sobre el método de ensayo. En: MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN. Jun 30, vol. 30, no. 178, p. 39-57 [Consultado 9, febrero 2020]. Disponible en: <http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/viewFile/1078/1148>

GÓMEZ A, TARQUINO K. Diseño de una lechada de cemento espumado, como base para una cementación primaria, para yacimientos con bajos gradientes de fractura. [en línea]. Tesis. Fundación Universidad de América, Bogotá, Colombia: 2018 [Consultado 1, febrero 2020]. Disponible en: <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6687/1/5131648-2018-1-IP.pdf>

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y DE CERTIFICACIÓN. Compendio de normas para trabajos escritos. NTC-1486-6166. Bogota D.C. El instituto, 2018 ISBN 9789588585673 153 p.

JOSE, S. DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE FRAGUADO INICIAL Y FINAL DEL CEMENTO, Universidad Centroamericana. El salvador. [en línea]. Disponible en: <http://www.uca.edu.sv/mecanica-estructural/materias/materialesCostruccion/guiasLab/ensayoCemento/Fraguado%20inicial%20y%20final%20del%20cemento.pdf>

LOBO J , MEDINA J. Evaluación técnico financiera a nivel de laboratorio del diseño de lechadas de cementación, usando grano de caucho reciclado como material de control de pérdida [en línea]. Tesis. Fundación Universidad de América, Bogotá, Colombia: 2018 [Consultado 3, febrero 2020]. Disponible en:<http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6745/1/5122476-2018-1-IP.pdf>

MESA C, PINZON J. Evaluación técnico-financiera del uso de nanomateriales en lechadas de cemento para revestimiento de producción en campo Castilla, a nivel de laboratorio [en línea]. Tesis. Fundación Universidad de América, Bogotá, Colombia: 2016 [Consultado 16, MARZO 2020]. Disponible en: <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/638/1/5111687-2016-2-IP.pdf>

SCHLUMBERGER oilfield glossary. En: CHOICE REVIEWS ONLINE. Nov 1, vol. 41, no. 3, p. 41-12

ANEXOS

ANEXO A CARTA DE CONFIDENCIALIDAD

NON-DISCLOSURE AGREEMENT

This Non-Disclosure Agreement (the "**Agreement**") is entered into as of January 17th of 2020, (the "**Effective Date**") between **Pluto Ground Technologies Inc.**, a Corporation formed pursuant to the laws of Canada (the "**Disclosing Party**") and students in charge of the project at the university of America foundation, a Corporation formed pursuant to the laws of Colombia with an office in the city of Bogota in the Province of Cundinamarca, (the "**Receiving Party**") (each a "**Party**" and collectively the "**Parties**").

1. **Purpose.** The purpose of this Agreement is to enable the disclosure of confidential information by the Disclosing Party to the Receiving Party to allow the Receiving Party to evaluate a potential business relationship involving Pluto Ground Technologies products and services to be develop in the Colombian oil and gas market performed laboratory tests and results will be evaluated and compare with local results and, if the parties agree, to execute transactions pursuant to that relationship (the "**Purpose**").
2. **Definition of Confidential Information.** "**Confidential Information**" means all non-public information, disclosed directly or indirectly, through any means of communication by the Disclosing Party or observation by the Receiving Party or any of its affiliates or representatives (which affiliates and representatives shall be included in the definition of "**Receiving Party**") to or for the benefit of the Receiving Party, including all information of which unauthorized disclosure could be detrimental to the interests of the Disclosing Party, whether or not such information is explicitly identified as "**Confidential Information**" by the Disclosing Party.
3. **Exceptions.** Confidential Information does not include information that the Receiving Party can demonstrate: (i) was in the Receiving Party's possession prior to its being furnished to the Receiving Party under the terms of this Agreement, provided the source of that information was not known by the Receiving Party to be bound by a confidentiality agreement with, or other continual, legal, or fiduciary obligation of confidentiality, to the Disclosing Party; (ii) is now, or hereafter becomes, through no act or failure to act on the part of the Receiving Party, generally known to the public; (iii) is rightfully obtained by the Receiving Party from a third party, without breach of any obligation to the Disclosing Party; or (iv) is independently developed by the Receiving Party without use of or reference to the Confidential Information.
4. **Samples and Introductory Product.** The ingredients, source, mix and chemical composition of any product samples or introductory product ("**sample product**") shipped by the Disclosing Party to the Receiving Party shall be considered a "**trade secret**" for the purposes of the Agreement and all information with respect thereto shall be treated as HIGHLY CONFIDENTIAL AND SENSITIVE Confidential Information and afforded the additional protection of a "**trade secret**" provided in Section 5 herein.
5. **Use and Protection.** The Receiving Party agrees to use the Confidential Information and any sample product received from Disclosing Party or its representative solely for the Purpose. The Receiving Party may not disclose the Disclosing Party's Confidential Information to third parties in any manner whatsoever, except as provided in paragraphs 6 and 7 of this Agreement, and shall protect the Confidential Information for five (5) years following the date of disclosure, except that for information designated as a "**trade secret**" by the Disclosing Party, the obligation to protect such Confidential Information shall survive for as long as such information remains confidential. The Receiving Party will take all measures reasonably necessary to protect the Confidential Information received from the Disclosing Party, using at least the same degree of care as it uses for its own proprietary information, and in any event no less than a reasonable standard of care.
6. **Permitted Disclosures.** The Parties may disclose Confidential Information to their directors, officers, employees, agents, contractors, and financial, legal, and other advisors with a bona fide need-to-know such Confidential Information, but only to the extent necessary to evaluate or carry out the Purpose, and only if such personnel are advised of the confidential nature of the Confidential Information and are bound by a written agreement or by a legally enforceable code of professional

responsibility to protect the confidentiality of such Confidential Information.

7. **Required Disclosures.** The Receiving Party may disclose Confidential Information in accordance with a judicial or other governmental order, provided that the Receiving Party gives the Disclosing Party reasonable notice prior to such disclosure (to the extent possible), and a reasonable opportunity, if available, to obtain a protective order or the equivalent. In the absence of a protective order, the Receiving Party agrees to disclose only as much of the Confidential Information as strictly necessary in order to comply with the judicial or governmental order.

8. **No Warranty.** THE DISCLOSING PARTY PROVIDES INFORMATION SOLELY ON AN "AS IS" BASIS. The Receiving Party shall comply with all applicable Canadian, United States and foreign export laws and regulations that may apply to the disclosure of the Confidential Information.

9. **Intellectual Property.** Nothing in this Agreement is intended to grant or imply any rights, by license or otherwise, to the Receiving Party under any patent, copyright, trade secret, or other intellectual property right, nor shall this Agreement grant or imply to Receiving Party any rights in or to the Disclosing Party's Confidential Information, except the limited right to review such Confidential Information solely for the Purpose.

10. **Independent Development.** The Disclosing Party acknowledges that the Receiving Party may currently or in the future be developing information internally, or receiving information from other parties, that is similar to the Confidential Information, and such activities are not prohibited by this Agreement provided that the Party does not violate any of its obligations under this Agreement in connection with such development. The Receiving Party may not use the Confidential Information or any sample product provided to it by the Disclosing Party to develop derivative or improved products or formulas. Any improvements or derivations of the sample product developed by the Receiving Party or that are based on the Confidential Information and all intellectual property related thereto shall be the sole and exclusive property of the Disclosing Party and may not be used by the Receiving Party except under agreement with the Disclosing Party.

11. **Return of Confidential Information.** The Receiving Party shall return to the Disclosing Party (or, at the Disclosing Party's option, certify destruction of) any sample product in its possession and all records, notes, and other written, printed or other tangible materials in its possession pertaining to the Confidential Information promptly upon the written request of the Disclosing Party, provided however that the Receiving Party may retain such of its documents as is necessary to enable it to comply with its reasonable document retention policies. The returning or destroying of materials shall not relieve the Receiving Party from compliance with other terms and conditions of this Agreement. The Receiving shall also upon request provide the Disclosing Party with a list of third parties that the Receiving Party has provided sample product or disclosed Confidential Information to, including such third parties' contact information, subject to applicable privacy laws.

12. **No Obligation.** Neither the exchange of any information under this Agreement nor the signing of this Agreement shall create an obligation of either Party to perform any work or enter into any other agreement or transaction with the other Party. The Parties hereby acknowledge that they are not agents of each other. Nothing in this Agreement shall prohibit a Party from providing its own Confidential Information to third parties and entering into agreements with third parties.

13. **Notification.** The Receiving Party agrees to notify the Disclosing Party (at the address set forth above) promptly upon discovery of any unauthorized use or disclosure of Confidential Information or any other breach of this Agreement, and will cooperate with Disclosing Party in every reasonable way to help Disclosing Party regain possession of the Confidential Information and prevent its further unauthorized use or disclosure.

14. **Damages and Indemnity.** The Receiving Party understands and acknowledges that any disclosure or misappropriation of any of the Confidential Information in violation of this Agreement may

cause the Disclosing Party irreparable harm, the amount of which may be difficult to ascertain, and therefore agrees that the Disclosing Party shall have the right to apply to a court of competent jurisdiction for equitable and injunctive relief and enjoining any such further disclosure or breach and for such other relief as the Disclosing Party shall deem appropriate. Such right of the Disclosing Party is to be in addition to the remedies otherwise available to the disclosing party at law or in equity. The Receiving Party expressly waives the defense that a remedy in damages will be adequate and any requirement in an action for specific performance or injunction for the posting of a bond or other security by the disclosing party. The Receiving Party further hereby agrees to indemnify the Disclosing Party against any and all losses, damages, claims, expenses, and attorneys' fees incurred or suffered by the Disclosing Party as a result of a breach of this Agreement by the Receiving Party. If any action at law or in equity is brought to enforce or interpret the provisions of this Agreement, the prevailing party in such action shall be awarded its solicitor and client costs incurred. Neither Party's failure nor delay in exercising any of its rights under this Agreement will constitute a waiver of such rights unless waived in writing.

15. **Assignment.** This Agreement, or any right or interest under this Agreement, may not be assigned or delegated without the Parties' prior written consent. Any attempted assignment in contravention of this Section 15 shall be void and ineffective. The terms of this Agreement shall be binding upon and inure to the benefit of and be enforceable by the permitted respective successors and assigns of the Parties.

16. **Governing Law.** This Agreement shall be governed by and construed in accordance with the laws of the Province of Alberta, Canada, without regards to its conflicts of laws principles. The Parties hereby irrevocably consent to the jurisdiction of the courts of Alberta and federal courts of appeal therefrom in Canada that may have jurisdiction, in any action arising out of or relating to this Agreement.

17. **Miscellaneous.** This Agreement may be signed in counterparts, which together shall constitute one agreement. If this Agreement is signed in counterparts, no signatory hereto shall be bound until both Parties named below have duly executed, or caused to be duly executed, a counterpart of this Agreement. The person signing on behalf of each Party represents that he or she has the right and power to execute this Agreement. This Agreement expresses the full and complete understanding of the Parties with respect to the subject matter hereof and supersedes all prior or contemporaneous proposals, agreements, representations and understandings, whether written or oral, with respect to the subject matter. This Agreement shall not limit any rights that the Disclosing Party may have under trade secret, copyright, patent or other laws that may be available. This Agreement may not be modified or amended except by a writing that is signed by authorized representatives of both Parties. Headings are descriptive only.

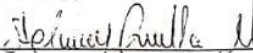
IN WITNESS THEREOF, the Parties have executed this Agreement as of the Effective Date set forth above.

Pluto Ground Technologies Inc.

Per: _____

Estudiantes a cargo del Proyecto en Fundacion
Universidad de America.

Per: 
Dhayanna Paola Fajardo Cendales
10337844201

Per: 
Yurani Stefany Pinilla Muñoz
1010232581

Bogotá, 8 de Mayo de 2020

Señores

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA

Ciudad

Asunto. CESIÓN DE DERECHOS Y AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Respetados señores:

De manera atenta me dirijo a ustedes con el objeto de manifestar mediante el presente documento:




1. Que soy AUTOR del Trabajo de Grado denominado **EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO EN LOS TIEMPOS DE FRAGUADO DE LA LECHADA STEP A BASE DE NANOTECNOLOGÍA EN LA SECCIÓN DE 9 5/8” EN EL CAMPO GUANDO A NIVEL DE LABORATORIO** y que en consecuencia garantizo que no corresponde a otro autor.

2. Que es de mi interés personal obtener el grado profesional con el trabajo antes mencionado y por ende para los anteriores efectos y mediante el presente documento, de manera voluntaria, no onerosa e irrevocable cedo en favor de la **Fundación Universidad de América** cualquier derecho de orden patrimonial que pudiera generar el uso, publicación, reproducción total o parcial, ejecución pública y en general la utilización del contenido del trabajo desarrollado.

3. Que en calidad de AUTOR reconozco y acepto que la Universidad no hará ningún tipo de reconocimiento dinerario con ocasión de la voluntaria cesión que se consigna en el presente documento.

4. Que en calidad de AUTOR reconozco y acepto que la Universidad detenta los derechos para publicar el trabajo realizado en el repositorio de la Institución sin ningún tipo de restricción de publicación, difusión, reproducción, copia o consulta respecto de la obra cedida, siendo la cita de mi autoría el único reconocimiento que reclamo.

Conforme a las condiciones anteriormente expuestas, como autor establezco las siguientes condiciones de uso de mí obra de acuerdo con la licencia Creative Commons que se señala a continuación:

	Atribución- no comercial- sin derivar: permite distribuir, sin fines comerciales, sin obras derivadas, con reconocimiento del autor.	<input type="checkbox"/>
	Atribución – no comercial: permite distribuir, crear obras derivadas, sin fines comerciales con reconocimiento del autor.	<input type="checkbox"/>
	Atribución – no comercial – compartir igual: permite distribuir, modificar, crear obras derivadas, sin fines económicos, siempre y cuando las obras derivadas estén licenciadas de la misma forma.	<input type="checkbox"/>

5. Que conozco y acepto que en adelante los derechos patrimoniales corresponden exclusivamente la **Fundación Universidad de América** y por tanto, sólo a ella le compete dar el tratamiento académico que estime conveniente al trabajo cuyos derechos patrimoniales cedo en este documento.

6. Al tiempo que declaro que esta autorización es voluntaria, no onerosa e irrevocable, reconozco que la Universidad instruye a estudiantes, docentes y usuarios externos sobre el respeto y acato a las normas sobre Derechos de Autor, por tal razón la exonero por el posible uso indebido que terceros hagan del trabajo materia de esta cesión.

7. De igual manera manifiesto que doy mi expresa autorización para que la Universidad haga uso de mi información de conformidad que con las leyes que regulan la protección de datos personales y de acuerdo a la política institucional, la cual declaro conocer.

Atentamente,

FAJARDO CENDALES DAYANNA PAOLA
C.C.1033784281, Bogotá D.C.
Ingeniería de Petróleos

PINILLA MUÑOZ YURANI STEFANY
C.C. 1010232581, Bogotá D.C.
Ingeniería de Petróleos