

**DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN ÓPTIMA DE UN ADITIVO ORGÁNICO  
BIODEGRADABLE FABRICADO A PARTIR DE LAS CÁSCARAS DE NARANJA  
PARA EL CONTROL DE FILTRADO Y MEJORA DE LA REOLOGÍA EN LA  
FORMULACIÓN DE UN LODO DE INICIO BASE AGUA A NIVEL DE LABORATORIO**

**JULIÁN RICARDO VARGAS LEÓN**

**CAMILO JARA RODRÍGUEZ**

**Proyecto integral de grado para optar para el título de:**

**INGENIERO DE PETRÓLEOS**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS**

**BOGOTÁ D.C.**

**2021**

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

---

---

---

**PRESIDENTE DEL JURADO**

---

**JURADO 1**

---

**JURADO 2**

Bogotá D.C. Julio de 2021

## **DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD**

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

**Dr. MARIO POSADA GARCÍA-PEÑA**

Consejero Institucional

**Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA**

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

**Dra. ALEXANDRA MEJÍA GUZMÁN**

Vicerrector Administrativo y Financiero

**Dr. RICARDO ALFONSO PEÑARANDA CASTRO**

Secretario General

**Dr. JOSE LUIS MACÍAS RODRÍGUEZ**

Decano de la Facultad

**Ing. JULIO CÉSAR FUENTES ARISMENDI**

Director de Programa

**Ing. JUAN CARLOS RODRÍGUEZ ESPARZA**

## DEDICATORIA

Con mucho amor y cariño para mis familiares y amigos,  
mi mamá Adriana y mi papá Lorenzo por todo el amor,  
apoyo y sacrificios a lo largo de estos años, a mis  
hermanos Alejandro y Daniela a quienes quiero con toda  
mi alma, a mi abuelita Beatriz Higuera de manera  
especial por haber sido un ángel que Dios puso en mi  
vida y que llevare siempre en mi corazón

A mi compañero de tesis y amigo Julián Vargas, a todos  
los compañeros que aportaron a mi crecimiento  
académico y personal durante estos años.

***CAMILO JARA RODRÍGUEZ.***

## DEDICATORIA

A mi familia, que los llevaré siempre en mi alma y mi corazón

A mi mamá Myriam, mi papá German y mi hermano Adrián

Que me brindaron su apoyo, amor y  
confiaron en mí durante todos estos años

Mi compañero de tesis y gran amigo Camilo Jara, a todas las  
personas con las que compartí en mi paso por la universidad  
y con las que tuve tantos momentos y experiencias inolvidables

***JULIAN RICARDO VARGAS LEON***

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Universidad de América por su colaboración y apoyo que fue fundamental para el desarrollo de este trabajo.

A nuestras tutoras y asesoras de manera especial, a los demás docentes que aportaron e hicieron posible la culminación de este trabajo y etapa de nuestras vidas

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

## TABLA DE CONTENIDO

	pág.
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>18</b>
<b>1. MARCO TEÓRICO</b>	<b>20</b>
<b>1.1 Fluidos de perforación</b>	<b>20</b>
<i>1.1.1 Tipos de fluidos de perforación</i>	<b>20</b>
<i>1.1.2 Propiedades físicas de los fluidos de perforación</i>	<b>21</b>
<i>1.1.3 Pruebas físicas de los lodos</i>	<b>22</b>
<b>1.2 Lodo agua-arcilla o no densificado</b>	<b>24</b>
<i>1.2.1 Componentes del sistema</i>	<b>25</b>
<b>1.3 Aditivos de un fluido de perforación</b>	<b>29</b>
<i>1.3.1 Aditivos según su origen</i>	<b>30</b>
<i>1.3.2 Según su función</i>	<b>30</b>
<b>1.4 Uso de la naranja en la industria petrolera</b>	<b>33</b>
<i>1.4.1 Generalidades de la naranja</i>	<b>33</b>
<i>1.4.2 Clasificación</i>	<b>33</b>
<i>1.4.3 Composición de la naranja</i>	<b>33</b>
<i>1.4.4 Estructura</i>	<b>35</b>
<b>1.5 Aditivos orgánicos para fluidos de perforación</b>	<b>36</b>
<i>1.5.1 Aditivos a partir de la cascara de papa</i>	<b>37</b>
<i>1.5.2 Aditivos a partir de la cascara de mandarina</i>	<b>37</b>
<b>2. METODOLOGÍA</b>	<b>38</b>
<b>2.1 Fabricación del aditivo orgánico biodegradable con cáscaras de naranja</b>	<b>38</b>



<b>2.1.1 Preparación del aditivo en polvo</b>	<b>38</b>
<b>2.2 Evaluación del rendimiento de un lodo de inicio convencional</b>	<b>46</b>
<b>2.2.1 Diseño de un fluido base</b>	<b>48</b>
<b>2.2.2 Realización de pruebas físicas al lodo de referencia</b>	<b>48</b>
<b>2.2.3 Preparación de varios fluidos de inicio usando PAC-LV</b>	<b>63</b>
<b>2.2.4 Realización de las pruebas físicas a los diferentes lodos con PAC-LV</b>	<b>63</b>
<b>2.3 Diseño de lodos de inicio con el aditivo orgánico biodegradable</b>	<b>63</b>
<b>2.3.1 Realización de las pruebas físicas con el aditivo orgánico</b>	<b>63</b>
<b>2.4 Establecimiento concentración óptima aditivo orgánico biodegradable</b>	<b>64</b>
<b>3. RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS</b>	<b>65</b>
<b>3.1 Lodo base</b>	<b>66</b>
<b>3.2 Lodo con el aditivo PAC-LV</b>	<b>69</b>
<b>3.2.1 Lodo con PAC-LV al 0,5%</b>	<b>70</b>
<b>3.2.2 Lodo con PAC-LV al 1%</b>	<b>72</b>
<b>3.2.3 Lodo con PAC-LV al 1,5%</b>	<b>74</b>
<b>3.2.4 Lodo con PAC-LV al 2%</b>	<b>76</b>
<b>3.2.5 Lodo con PAC-LV al 2,5%</b>	<b>78</b>
<b>3.3 Lodo con el aditivo de naranja</b>	<b>79</b>
<b>3.3.1 Lodo con cáscara de naranja al 0,5%</b>	<b>80</b>
<b>3.3.2 Lodo con cáscara de naranja al 1%</b>	<b>82</b>
<b>3.3.3 Lodo con cáscara de naranja al 1,5%</b>	<b>84</b>
<b>3.3.4 Lodo con cáscara de naranja al 2%</b>	<b>86</b>
<b>3.3.5 Lodo con cáscara de naranja al 2,5%</b>	<b>87</b>

<b>3.3.6 Lodo con cáscara de naranja al 3%</b>	<b>90</b>
<b>3.3.7 Lodo con cáscara de naranja al 3,5%</b>	<b>92</b>
<b>3.3.8 Lodo con cáscara de naranja al 4%</b>	<b>94</b>
<b>3.3.9 Lodo con cáscara de naranja al 4,5%</b>	<b>95</b>
<b>3.3.10 Lodo con cáscara de naranja al 5%</b>	<b>97</b>
<b>3.4 Gráficas de tendencia de las propiedades físicas</b>	<b>99</b>
<b>3.4.1 Gráficas lodos con PAC-LV</b>	<b>100</b>
<b>3.4.2 Gráficas lodos con polvo de cascara de naranja</b>	<b>108</b>
<b>3.4.3 Graficas lodos con polvo de cáscaras de naranja y lodos con PAC-LV</b>	<b>118</b>
<b>4. CONCLUSIONES</b>	<b>128</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>130</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>132</b>

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
<b>Figura 1.</b> Estructura molecular de la glucosa	27
<b>Figura 2.</b> Estructura molecular de la celulosa	27
<b>Figura 3.</b> Estructura molecular del CMC o el PAC	28
<b>Figura 4.</b> Anatomía de una naranja	36
<b>Figura 5.</b> Diagrama de fabricación del aditivo	39
<b>Figura 6.</b> Disposición de las cáscaras de naranja	40
<b>Figura 7.</b> Recolección de la materia prima	41
<b>Figura 8.</b> Recorte en trozos de la materia prima	41
<b>Figura 9.</b> Comienzo del secado de la materia prima en el horno	42
<b>Figura 10.</b> Continuación del secado en un recipiente	43
<b>Figura 11.</b> Materia prima después de la culminación del secado	43
<b>Figura 12.</b> Trituración de la materia prima con molino	44
<b>Figura 13.</b> Trituración de la materia prima con procesador de alimentos	44
<b>Figura 14.</b> Obtención del aditivo en polvo a través del tamiz de sólidos	45
<b>Figura 15.</b> Almacenamiento del aditivo orgánico biodegradable en polvo	46
<b>Figura 16.</b> Evaluación del rendimiento de un lodo de inicio convencional	47
<b>Figura 17.</b> Diagrama de flujo para la calibración de la balanza de lodo	49
<b>Figura 18.</b> Diagrama de flujo para la medición del peso del lodo	50
<b>Figura 19.</b> Diagrama de flujo para la calibración del embudo de Marsh	51
<b>Figura 20.</b> Diagrama de flujo para la medición de la viscosidad de embudo	52
<b>Figura 21.</b> Diagrama de flujo de la medición del perfil reológico	53

<b>Figura 22.</b> Diagrama de flujo de la medición del filtrado del lodo	55
<b>Figura 23.</b> Diagrama de flujo de la medición del porcentaje de sólidos y líquidos	56
<b>Figura 24.</b> Diagrama de flujo de la medición del contenido de arena	57
<b>Figura 25.</b> Diagrama de flujo de la medición de la alcalinidad del lodo	58
<b>Figura 26.</b> Diagrama de la medición de la alcalinidad del filtrado	59
<b>Figura 27.</b> Diagrama de flujo de la medición del contenido de cloruros	60
<b>Figura 28.</b> Diagrama de flujo de la medición de la dureza total	61
<b>Figura 29.</b> Diagrama de flujo de la medición del pH	62
<b>Figura 30.</b> Gráfica peso del lodo vs concentración (PAC-LV)	100
<b>Figura 31.</b> Gráfica pH vs concentración (PAC-LV)	101
<b>Figura 32.</b> Gráfica Filtrado vs concentración (PAC-LV)	102
<b>Figura 33.</b> Gráfica viscosidad plástica vs concentración (PAC-LV)	103
<b>Figura 34.</b> Gráfica punto cedente vs concentración (PAC-LV)	104
<b>Figura 35.</b> Gráfica viscosidad aparente vs concentración (PAC-LV)	105
<b>Figura 36.</b> Gráfica gel inicial vs concentración (PAC-LV)	106
<b>Figura 37.</b> Gráfica gel final vs concentración (PAC-LV)	107
<b>Figura 38.</b> Gráfica peso del lodo con vs concentración (Naranja)	108
<b>Figura 39.</b> Gráfica pH vs concentración (Naranja)	109
<b>Figura 40.</b> Gráfica Filtrado vs concentración (Naranja)	110
<b>Figura 41.</b> Gráfica viscosidad plástica vs concentración (Naranja)	111
<b>Figura 42.</b> Gráfica punto cedente vs concentración (Naranja)	112
<b>Figura 43.</b> Gráfica viscosidad aparente vs concentración (Naranja)	114
<b>Figura 44.</b> Gráfica gel inicial vs concentración (Naranja)	115

<b>Figura 45.</b> Gráfica gel final vs concentración (Naranja)	116
<b>Figura 46.</b> Grafica viscosidad de embudo vs concentración (Naranja)	117
<b>Figura 47.</b> Grafica peso del lodo PAC-LV y naranja vs concentración	118
<b>Figura 48.</b> Grafica pH lodo PAC-LV y naranja vs concentración	119
<b>Figura 49.</b> Grafica filtrado lodo PAC-LV y naranja vs concentración	120
<b>Figura 50.</b> Grafica viscosidad plástica lodo PAC-LV y naranja vs concentración	121
<b>Figura 51.</b> Grafica punto cedente lodo PAC-LV y naranja vs concentración	123
<b>Figura 52.</b> Grafica viscosidad aparente lodo PAC-LV y naranja vs concentración	124
<b>Figura 53.</b> Grafica gel inicial lodo PAC-LV y naranja vs concentración	125
<b>Figura 54.</b> Grafica gel final lodo PAC-LV y naranja vs concentración	126

## LISTA DE TABLAS

	pág.
<b>Tabla 1.</b> Propiedades físicas de un fluido de perforación	22
<b>Tabla 2.</b> Valor de las propiedades de un lodo de inicio	25
<b>Tabla 3.</b> Tipos de Celulosa Polianiónica y sus características	29
<b>Tabla 4.</b> Composición de la naranja	34
<b>Tabla 5.</b> Propiedades físicas del lodo base	65
<b>Tabla 6.</b> Resultado pruebas laboratorio lodo base	66
<b>Tabla 7.</b> Propiedades lodo base	69
<b>Tabla 8.</b> Resultados pruebas laboratorio con PAC-LV al 0,5%	70
<b>Tabla 9.</b> Propiedades lodo con PAC-LV al 0,5%	71
<b>Tabla 10.</b> Resultados pruebas laboratorio con PAC-LV al 1%	72
<b>Tabla 11.</b> Propiedades lodo con PAC-LV al 1%	73
<b>Tabla 12.</b> Resultados pruebas laboratorio con PAC-LV al 1,5%	74
<b>Tabla 13.</b> Propiedades lodo con PAC-LV al 1,5%	75
<b>Tabla 14.</b> Resultados pruebas laboratorio con PAC-LV al 2%	76
<b>Tabla 15.</b> Propiedades lodo con PAC-LV al 2%	77
<b>Tabla 16.</b> Resultados pruebas laboratorio con PAC-LV al 2.5%	78
<b>Tabla 17.</b> Propiedades lodo con PAC-LV al 2,5%	79
<b>Tabla 18.</b> Resultados pruebas laboratorio con cascara de naranja al 0,5%	80
<b>Tabla 19.</b> Propiedades lodo con cascara de naranja al 0,5%	81
<b>Tabla 20.</b> Resultados pruebas laboratorio con cascara de naranja al 1%	82
<b>Tabla 21.</b> Propiedades lodo con cascara de naranja al 1%	83

<b>Tabla 22.</b> Resultados pruebas laboratorio con cascara de naranja al 1,5%	84
<b>Tabla 23.</b> Propiedades lodo con cascara de naranja al 1,5%	85
<b>Tabla 24.</b> Resultados pruebas laboratorio con cascara de naranja al 2%	86
<b>Tabla 25.</b> Propiedades lodo con cascara de naranja al 2%	87
<b>Tabla 26.</b> Resultados pruebas laboratorio con cascara de naranja al 2,5%	88
<b>Tabla 27.</b> Propiedades lodo con cascara de naranja al 2,5%	89
<b>Tabla 28.</b> Resultados pruebas laboratorio con cascara de naranja al 3%	90
<b>Tabla 29.</b> Propiedades lodo con cascara de naranja al 3%	91
<b>Tabla 30.</b> Resultados pruebas laboratorio con cascara de naranja al 3,5%	92
<b>Tabla 31.</b> Propiedades lodo con cascara de naranja al 3,5%	93
<b>Tabla 32.</b> Resultados pruebas laboratorio con cascara de naranja al 4%	94
<b>Tabla 33.</b> Propiedades lodo con cascara de naranja al 4%	95
<b>Tabla 34.</b> Resultados pruebas laboratorio con cascara de naranja al 4,5%	96
<b>Tabla 35.</b> Propiedades lodo con cascara de naranja al 4,5%	97
<b>Tabla 36.</b> Resultados pruebas laboratorio con cascara de naranja al 5%	98
<b>Tabla 37.</b> Propiedades lodo con cascara de naranja al 5%	99

## RESUMEN

El fluido de perforación es un elemento indispensable en el proceso de perforación de un pozo petrolero, este va a poseer diferentes características para poder cumplir de manera correcta sus funciones y disminuir la posibilidad de presentar cualquier problema operacional durante este proceso como el aumento en el espesor del revoque, torques erráticas, pegas mecánicas y diferenciales de tubería. Por esta razón, factores como la profundidad, el tipo de formación que se esté atravesando y la presión de la formación, son determinantes a la hora de diseñar un lodo. Para dicho diseño se emplean varios aditivos de origen químico para poder ajustar tanto las propiedades químicas como las físicas, uno de los productos más empleados en la industria es la celulosa polianiónica de baja viscosidad (PAC-LV) que se utiliza como agente controlador de filtrado.

Esta investigación se centró en determinar la concentración óptima de un aditivo orgánico biodegradable fabricado a partir de las cáscaras de naranja para el control de filtrado y mejora de la reología formulando un lodo de inicio base agua a nivel laboratorio, para lo cual se trazó cuatro objetivos específicos. El primero consistió en fabricar el aditivo objeto de estudio a partir de los residuos de las cáscaras de naranja. El segundo, se dirigió en evaluar mediante pruebas de laboratorio el rendimiento de un lodo de inicio convencional formulado con PAC-LV, bentonita y soda cáustica. El tercero, consistió en diseñar los fluidos de inicio con el aditivo orgánico biodegradable realizando las pruebas físicas a nivel de laboratorio tomando como referencia la norma API 13B-1. Finalmente, el cuarto se centró en establecer la concentración óptima de dicho aditivo mediante la comparación de los resultados obtenidos en el laboratorio del lodo de inicio convencional respecto al lodo de inicio con el aditivo estudiado en este trabajo.

Para el cumplimiento de esos objetivos se hizo la producción de un aditivo orgánico biodegradable amigable con el medio ambiente usando cáscaras de naranja. Posteriormente, se formuló un lodo base agua de referencia con bentonita y soda caustica para medir sus propiedades fisicoquímicas y así tomarlo como referencia para poder generar un buen análisis de los aditivos objetos de estudio. Por otra parte, se diseñó varios fluidos de inicio convencionales empleando PAC-LV, y así mismo se realizó la formulación distintos lodos de inicio con el aditivo en polvo obtenido de las cáscaras



de la naranja, cabe resaltar que los lodos preparados con ambos aditivos fueron evaluados a diferentes concentraciones para poder realizar un análisis completo en base a la tabla de valores típicos de las propiedades de un lodo de inicio base agua que aparece en el manual de fluidos de perforación del Instituto Americano del Petróleo para poder determinar de manera concreta el comportamiento y eficiencia de ambos productos. Las pruebas de laboratorio se realizaron siguiendo los procedimientos estipulados en la norma API 13B-1.

Finalmente, se obtuvo la concentración óptima de un lodo formulado con el aditivo orgánico biodegradable a partir de cascaras de naranja, tomando en cuenta los rangos típicos de un lodo de inicio y la formulación del fluido de referencia empleado en esta investigación, ronda entre un 2.5% hasta un 3% m/v, valores en los cuales las propiedades del lodo de inicio operaron de acuerdo con el rango típico de estas y además se obtuvo un buen control de filtrado teniendo reducciones entre un 58% y un 60% del valor original y buen perfil reológico. Adicionalmente, se determinó que el aditivo orgánico trabaja como un diluyente, haciendo que la reología del lodo ajuste y trabaje correctamente cuando se trabaja con concentraciones que rondan entre el 2.5% y 5% m/v. Se estableció que el aditivo de las cáscaras de naranja es un buen reductor de pH logrando reducciones que van entre el 4% y 28% respecto al valor obtenido en el fluido de referencia cuando se manejan concentraciones entre el 0,5% al 5%. Además, se evidenció que el revoque obtenido por el producto orgánico es más fino, de mejor consistencia y de mayor calidad que el originado por la celulosa polianiónica de baja viscosidad, ya que su valor en pulgadas es mucho más cercano a 1/32 de pulgada. Por otra parte, el PAC-LV a pesar de ser un excelente controlador de filtrado, su rango de concentraciones para tener una operabilidad aceptable tiene que ser igual o menor al 1% m/v para no afectar de manera drástica la reología del fluido.

## INTRODUCCIÓN

El siguiente trabajo se desenvuelve en el área de la perforación y se centra de manera específica en la determinación de la concentración óptima de un aditivo orgánico biodegradable obtenido a partir de las cáscaras de la naranja (*Citrus Sinensis*) que es una fruta cítrica perteneciente a la familia de las Rutáceas, para mejorar propiedades físicas de un fluido de perforación base agua. [1]

En primera instancia, según la investigación y publicación llevada a cabo por A. Taleb et al, en la cual afirma que en los últimos años se han realizado varios estudios sobre el uso de aditivos biodegradables de origen orgánico que son amigables con el medio ambiente y el subsuelo, que a su vez generan un buen rendimiento en las propiedades físicas de los fluidos de perforación como sustitutos de aditivos químicos empleados convencionalmente como agentes controladores de filtrado, controladores de reología y diluyentes. [2]

Para la realización de este trabajo es importante resaltar lo desarrollado en la investigación realizada por A.T. Al-Hameedi et al, con apoyo de la Missouri University of Science and Technology. Quienes emplearon las cáscaras de mandarinas para la fabricación de un aditivo en polvo y se analizó su rendimiento respecto al químico PAC-LV (Celulosa Polianiónica de baja viscosidad), que arrojó los mejores resultados empleando concentraciones menores al 1-4% donde las propiedades físicas como densidad de lodo, viscosidad plástica, esfuerzos de gel, pH, filtrado y punto cedente que ajustaban a las de un lodo de inicio. La metodología empleada por ellos servirá de base para el desarrollo de este proyecto. [3]

Este trabajo de investigación tiene como objetivo determinar la concentración óptima de un aditivo orgánico biodegradable fabricado a partir de las cáscaras de naranja para el control de filtrado y mejora de la reología en la formulación de un lodo de inicio base agua a nivel de laboratorio.

Con el fin de cumplir con lo previamente planteado se establecieron los siguientes objetivos específicos:

- Fabricar el aditivo orgánico biodegradable a partir de los residuos de las cáscaras de naranja.
- Evaluar un lodo de inicio convencional mediante pruebas de laboratorio.
- Diseñar los lodos de inicio con el aditivo orgánico biodegradable realizando las pruebas físicas a nivel de laboratorio tomando como referencia la norma API 13B-1.
- Establecer la concentración óptima del aditivo orgánico biodegradable mediante la comparación de los resultados obtenidos en laboratorio del lodo de inicio convencional respecto al lodo de inicio con el aditivo objeto de estudio.

De esta manera este trabajo se hace con la intención de validar mediante la elaboración de un lodo de inicio con un aditivo orgánico biodegradable obtenido a partir de la cáscara de la naranja la concentración óptima del aditivo objeto de estudio en la mejora del control de filtrado y el perfil reológico de un fluido de perforación de inicio base agua, para la limpieza y suspensión de recortes.

## 1. MARCO TEÓRICO

En el capítulo se puntualiza en los conceptos necesarios para el desarrollo de esta tesis y se realiza la explicación de los principios básicos relacionados con los fluidos de perforación que es el tema de desarrollo de este trabajo de grado.

### 1.1 Fluidos de Perforación

Teniendo en cuenta que Schlumberger define a un lodo de perforación como una mezcla homogénea realizada a partir de varios compuestos y que conforman un fluido el cual es utilizado para operaciones durante la etapa de perforación del yacimiento petrolífero y que se encuentra determinado y condicionado por tener características tales como un buen filtrado de lodo, una reología óptima, un peso y una viscosidad buenas para el control primario del pozo y presiones de fondo, un porcentaje de sólidos mínimo para un buen rendimiento, de tal manera que todas estas sean compatibles con el yacimiento, el pozo y los equipos de perforación. [4]

Por otra parte, el Manual de Fluidos de Perforación el Instituto Americano del Petróleo (API) enuncia 12 funciones que cumplen estos fluidos de perforación las cuales son remover recortes, controlar presiones de formación, suspender recortes, lubricar y enfriar el conjunto de perforación, brindar estabilidad al hueco, transmitir energía a la broca, garantizar una acertada evaluación de la formación, facilitar operaciones de cementado y completamiento del pozo, minimizar el impacto ambiental, taponar formaciones permeables, regular la corrosión, Disminuir los efectos e impactos en el reservorio. [5]

#### 1.1.1 Tipos de fluidos de perforación

Teniendo en cuenta que la empresa Petróleos de Venezuela S.A. (PDVSA) sostiene en su manual de fluido de perforación que dependiendo de la sustancia que constituye la fase continua, que es la sustancia en donde se disuelve la fase sólida, los fluidos se pueden ser base agua o base aceite. [6]

Existen cuatro tipos de fluidos que enuncia la empresa Petróleos de Venezuela S.A. teniendo en cuenta su fase continua. Los lodos base agua, cuya fase continua es este compuesto, son sistemas flexibles y que comúnmente son empleados para atravesar

formaciones que no generan una respuesta negativa al entrar en contacto con el agua y también en aquellas que pueden producir o no aceite y gas. Los lodos de emulsión, también conocidos como fluidos de emulsión de aceite en agua, estos tienen una fase acuosa compuesta por una emulsión en la cual el aceite se encuentra disperso en forma de gotas en el agua que es la fase continua y que son sistemas que se emplean en los mismos escenarios que los lodos base agua, es decir en formaciones que no generen alguna reacción al ser contactadas por el agua, además de aquellas productoras y no productoras de hidrocarburos. Los fluidos base aceite, los cuales poseen una fase continua que es compuesta únicamente por el petróleo o sus derivados, es empleado para atravesar formaciones que presentan una reacción negativa al contacto con el agua con las arcillas. Finalmente, tenemos los Lodos base aceite de emulsión inversa que son aquellos cuya fase continua es compuesta por diésel, crudo u otro aceite con gotas de agua dispersas en ella. Se usa en las mismas situaciones que un fluido base aceite, es decir en formaciones donde el contacto del agua con estas es perjudicial para las operaciones de perforación. [6]

### ***1.1.2 Propiedades físicas de los fluidos de perforación***

Es importante saber de las propiedades físicas que rigen a los lodos de perforación, por esto la empresa PDVSA sostiene que estas son todas aquellas que tienen un efecto en la parte física del fluido y que se ven afectadas durante el proceso de perforación por la presencia de sólidos y recortes provenientes de la formación. [6]

En la tabla 1 se aprecian las propiedades físicas que se monitorean en un fluido de perforación para garantizar su buen rendimiento.

**Tabla 1.**

*Propiedades físicas de un fluido de perforación*

<b>PROPIEDAD</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Reología	Es el análisis de la deformación y flujo de un fluido, depende de temperatura, presión y velocidad de corte.
Viscosidad	Es la resistencia al flujo de una sustancia, lo que impide la pérdida de circulación hacia la formación perforada.
Viscosidad de embudo	Indicador relativo de la condición del fluido y sus cambios.
Velocidad de corte	Índice al que cambia la velocidad a la que una capa de un fluido pasa sobre otra adyacente.
Esfuerzo de corte	Es la fuerza requerida para mantener la velocidad de corte.
Viscosidad efectiva	Viscosidad de un fluido bajo unos parámetros determinados.
Viscosidad plástica	Es la resistencia al flujo debido a una fricción mecánica.
Punto cedente	Es la medida de las fuerzas electroquímicas de un fluido, son el resultado de una carga negativa y una positiva en la superficie de las moléculas.
Tixotropía y esfuerzos de gel	Es la propiedad de los fluidos para ser capaz de formar una estructura de gel cuando están estáticos después de un esfuerzo de corte.
Control de filtrado	Es la acción de filtrar las partículas sólidas cuando la presión hace entrar el lodo de perforación hacia la formación permeable, formando un revoque.

**Nota.** Resumen breve y preciso de las propiedades físicas de un lodo de perforación. Tomado de: R. Leguizamón y D.R. Leguizamón-Ochoa, *Propiedades fundamentales del fluido de perforación*, Bogotá: Solids Control School, 2018.

### **1.1.3 Pruebas físicas de los lodos**

Son procedimientos realizados a los lodos a nivel de campo y a nivel de laboratorio para medir y controlar sus propiedades físicas. Por otra parte, estas sirven para poder monitorear los cambios que sufren los fluidos al entrar en contacto con los sólidos y

sustancias provenientes de la formación como las sales, la anhidrita o aguas de formación. Estas pruebas se realizan siguiendo la norma API 13 B-1 que es la norma recomendada para la práctica de pruebas de laboratorio en fluidos base agua y la API 13B-2 para fluidos base aceite, las dos normas anteriores están incluidas en la norma ISO 10414 que describe el procedimiento del testeo de los fluidos de perforación en campo de la industria de petróleo y gas. En estas se habla de manera general de la medición de las propiedades físicas y química de un fluido de perforación, su finalidad, los equipos empleados y se estandariza el procedimiento a seguir a la hora de realizar las pruebas de las propiedades de un lodo. Adicionalmente, importante tener en cuenta que en la metodología empleada en campo es muy similar a la utilizada en el laboratorio, debido a que es exactamente la misma manejada en el Manual Fluidos de Perforación del Instituto Americano del Petróleo (API) y en las normas previamente referenciadas con pequeños cambios en las temperaturas empleadas en la prueba de reología. [7]

Teniendo en cuenta la información manejada por el Instituto Americano del Petróleo las pruebas físicas a las que se somete un fluido de perforación son la densidad del lodo, la viscosidad de embudo, viscosidad por reómetro para determinar su perfil reológico, el filtrado del lodo, el contenido de arena y el contenido de líquidos y sólidos, estas son explicadas en el Manual de Fluidos de Perforación de este instituto de la siguiente manera; En primer lugar, está la densidad del lodo también conocida como el peso del fluido que es la propiedad encargada de medir el peso por unidad de volumen que tiene un lodo. También está la viscosidad de embudo la cual es realiza con el viscosímetro de Marsh y es una medición realizada para tener una aproximación de la fricción existente entre las partículas que componen el fluido y así medir de manera fácil los posibles cambios entre las interacciones intermoleculares que el lodo pueda presentar durante la perforación. Por otro lado, se mide la viscosidad con reómetro que es una prueba de bastante importancia dado que esta permite determinar las propiedades reológicas del fluido como la viscosidad plástica, la viscosidad aparente, el punto cedente, los esfuerzos de gel inicial y a los 10 minutos. [5]

Adicionalmente, es importante resaltar otras propiedades mencionadas por la API como el filtrado del lodo que es una medición realizada con la filtro-prensa API y que

permite valorar las características de filtrado del fluido imitando las características en pozo y brinda un indicador de que tan bueno es el sello generado por el revoque desde la cara de las formaciones permeables hacia su parte interna. Además, es relevante el contenido de sólidos y líquidos que es una prueba que permite la estimación de distribución de los porcentajes que poseen las fases que componen un fluido de perforación. Finalmente, el contenido de arena que se realiza con la finalidad de obtener la concentración o porcentaje de arena presente en un lodo de perforación, y permite controlar posibles sedimentaciones o floculaciones del fluido. [5]

## **1.2 Lodo agua-arcilla o no densificado**

Este es un lodo de inicio que según lo explicado en el Manual de fluidos de perforación del API es empleado para perforar los primeros pies de un pozo cuyo aditivo principal es la bentonita y presenta ventajas como bajos costos de formulación y las altas velocidades de penetración. No obstante, sus desventajas son el mal control de filtrado y una mala limpieza del hueco debido a sus malas propiedades reológicas, por eso se usa aditivos para ajustar el pH y para generar un mejor control del filtrado y una mayor viscosidad en el fluido. [5]

En la tabla 2 se puede apreciar los rangos de propiedades que debe cumplir un fluido de perforación para ser considerado un lodo de inicio y poder cumplir de forma pertinente sus funciones.



**Tabla 2.***Valor de las propiedades de un lodo de inicio*

<b>Propiedades Típicas</b>	
Densidad (lb/gal)	8,5 – 10
Viscosidad embudo (seg/qt)	36 – 55
Viscosidad plástica (cP)	5 – 9
Punto cedente (lb/100 pies <sup>2</sup> )	12 – 25
Esfuerzo de gel inicial (lb/100 pies <sup>2</sup> )	5 – 10
Esfuerzo de gel a los 10 min. (lb/100 pies <sup>2</sup> )	10 – 20
pH	8,5 - 10,5
Pm (cm <sup>3</sup> 0,002 N H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	0,1 - 1,5
Pf (cm <sup>3</sup> 0,002 N H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	0,1 - 1,0
Calcio (mg/l)	40 – 240
Cloruros (mg/l)	0 - 5.000
Filtrado (cm <sup>3</sup> /30min)	< 10
Sólidos de baja gravedad específica (%)	3 – 10

**Nota.** Rango típico de valores de las propiedades de un lodo de inicio. Tomado de: Manual de fluidos de perforación, Instituto Americano del Petróleo, Dallas, Texas, 2001. pág. 317.

### **1.2.1 Componentes del sistema**

El API también afirma que los componentes principales de un lodo de inicio son el material densificante que generalmente es la bentonita, un ajustador de pH como la soda cáustica (NaOH) y un agente controlador de filtrado y viscosificante como el CMC o el PAC. [5]

La bentonita, también conocida como la montmorillonita según Schlumberger y la información plasmada en su glosario en línea este es un tipo de material arcilloso que se encuentra compuesto por sílice y alúmina, que principalmente es usado en fluidos de

perforación para proporcionar peso, dar viscosidad y control de filtrado. Además, comercialmente existe la bentonita sódica y la cálcica. [8]

La soda cáustica, cuya nomenclatura química es el hidróxido de sodio (NaOH), que según Schlumberger es un aditivo muy usado en la industria petrolera para el control de pH y alcalinidad en lodos base agua. Es importante saber que esta sustancia debido a composición se debe manejar con mucha precaución. [9]

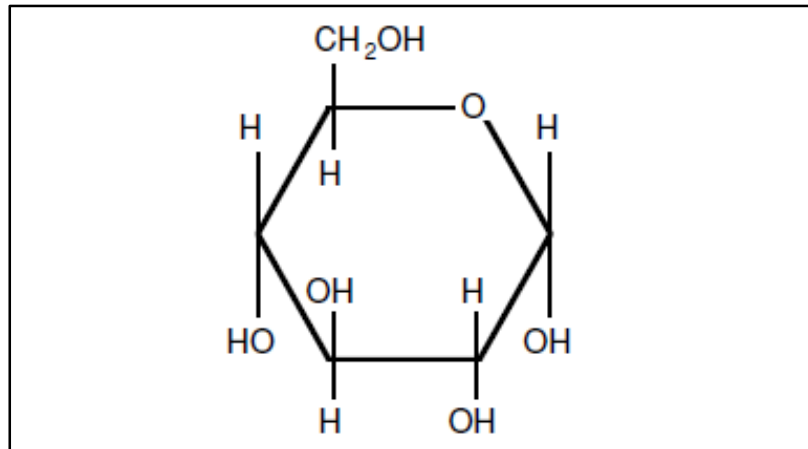
La celulosa polianiónica (PAC), tomando como referencia a la empresa IRO perforaciones petrolíferas químicas co Ltda la cual afirma que este aditivo se encuentra catalogado como polímeros naturales modificados, indispensables para la preparación de los fluidos de perforación es soluble en el agua y se emplea como agente para el control de filtrado, suspendedor y viscosificante. Dependiendo de su función y su estructura molecular existen diferentes tipos de este aditivo cuyas características son diferentes, por tal motivo sus efectos en las propiedades del fluido de perforación serán distintas. [10]

No obstante, antes de adentrarse bien en la celulosa polianiónica (PAC) es necesario saber que es la celulosa, para lo cual tomando como referencia lo que Geovanny Criollo desarrollo en su tesis de grado publicada por la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, donde afirma que la celulosa es un polímero natural que es considerada como un monopolisacárido, esto quiero decir que se encuentra conformado por cadenas de 3 moléculas del mismo polisacárido el cual es la glucosa que es unida por puentes de hidrogeno. Adicionalmente, es considerada como la biomolécula orgánica que más abunda en el mundo y la naturaleza, puesto que esta representa la mayoría de la biomasa, puesto que es se encuentra presente en las paredes y cortezas de plantas, vegetales y frutas. [11]

En la figura 1 se aprecia la estructura molecular de la glucosa uno de los componentes principales de la naranja.

**Figura 1.**

*Estructura molecular de la glucosa*

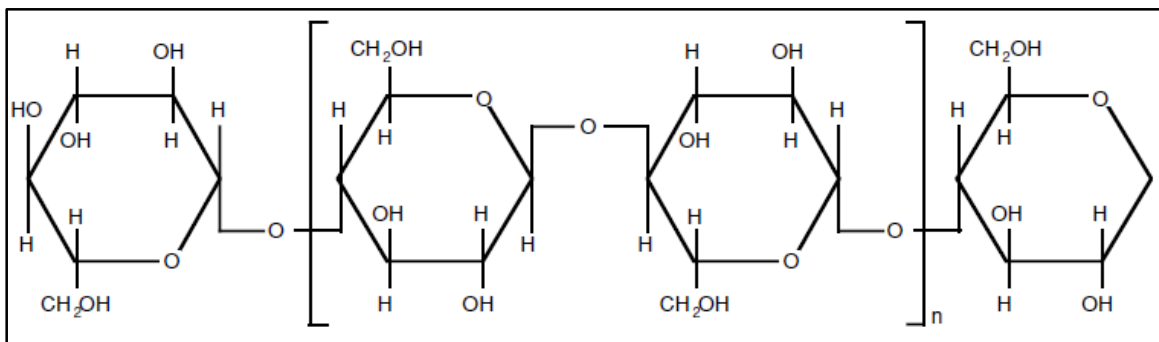


**Nota.** En esta figura se aprecia la estructura molecular de un polímero natural como lo es la celulosa. Tomado de: R. Leguizamón y D.R. Leguizamón-Ochoa, *Propiedades fundamentales del fluido de perforación*, Bogotá: Solids Control School, 2018.

En la figura 2 se aprecia la estructura molecular de la celulosa como un polímero natural.

**Figura 2.**

*Estructura molecular de la celulosa*



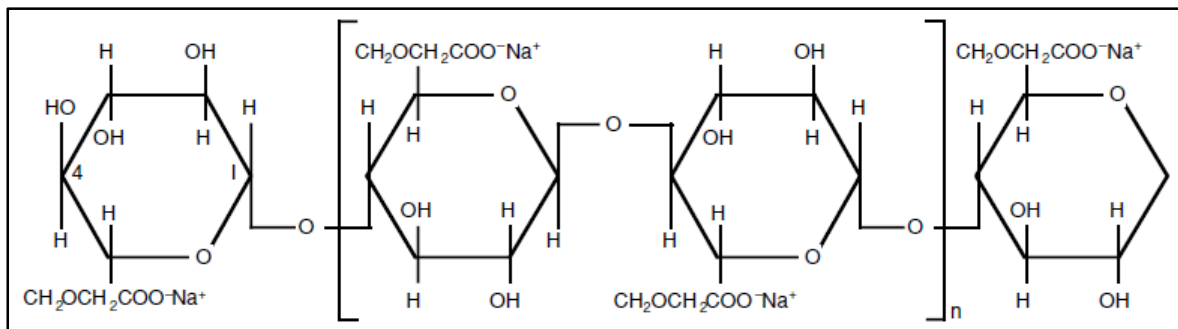
**Nota.** En esta figura se aprecia la estructura molecular de un polímero natural como lo es la celulosa. Tomado de: R. Leguizamón y D.R. Leguizamón-Ochoa, *Propiedades fundamentales del fluido de perforación*, Bogotá: Solids Control School, 2018.

Por otra parte, en el manual de fluidos de perforación de la API explica que la PAC es un aditivo formado mediante el mismo proceso que la carboximetil celulosa (CMC), el cual ocurre por la reacción entre la celulosa con la sal de sodio del ácido monocloracético ( $ClCH_2COONa$ ), la reacción de sustitución se da en el grupo ( $CH_2OH$ ). No obstante, la celulosa polianiónica posee un grado de sustitución mayor respecto a la CMC, es decir que presenta una mayor cantidad de sustituciones en un mismo anillo o estructura que se repite. También es importante resaltar que tanto la PAC como la carboximetil celulosa tiene el mismo grado de polimerización, esto se refiere a que la estructura de anillo de ambas se repite el mismo número de veces. [5]

En la figura 3 se plasma la estructura molecular que puede presentar la celulosa polianiónica la carboximetil celulosa, teniendo en cuenta que el grado de sustitución o las cantidades de sustituciones presentes en la estructura puede variar, generando cambio en las propiedades químicas y físicas del aditivo.

**Figura 3.**

*Estructura molecular del CMC o el PAC*



**Nota.** En esta figura se aprecia la estructura molecular que posee polímero modificado como la celulosa polianiónica o la carboximetil celulosa, cuya diferencia reside únicamente en el grado de sustitución. Tomado de: R. Leguizamón y D.R. Leguizamón-Ochoa, *Propiedades fundamentales del fluido de perforación*, Bogotá: Solids Control School, 2018.

En la tabla 3 se puede observar los tipos de celulosa polianiónica manejados en la industria, sus características y las funciones que cada uno cumple en un lodo de perforación.

**Tabla 3.**

*Tipos de celulosa polianiónica y sus características*

<b>Nombre</b>	<b>Descripción</b>
PAC - HV	La celulosa polianiónica de alta viscosidad, reduce la tasa de filtración del lodo, pero principalmente es usada para el aumento y estabilización de la viscosidad con la intención de mejorar la limpieza del pozo y mejorar la tixotropía del fluido de perforación.
PAC - LV	La celulosa polianiónica de baja viscosidad, se emplea en lodos con una alta carga de sólidos base agua esta puede causar una reducción significativa de la tasa de filtración del fluido de perforación, evitando una realizar unos incrementos significativos en la viscosidad y tixotropía de este.
PAC-R	Es un aditivo que reduce la filtración, además aumenta y estabiliza la viscosidad del fluido junto con sus propiedades reológicas. Se emplea en fluidos de inicio de agua dulce, de agua salada y libre de sólidos.

**Nota.** Clases de Celulosa Polianiónica, sus características y efectos en el fluido de perforación. Tomado de: IRO perforaciones petrolíferas químicas Co., Ltd. “La celulosa polianiónica (PAC)”. [En línea]. <https://cutt.ly/2Qp3fOe>

### **1.3 Aditivos de un fluido de perforación**

El manual de fluidos de perforación de la empresa PDVSA se explica que para el diseño y preparación de lodos se emplean aditivos cuyas concentraciones pueden variar dependiendo de la finalidad que se tenga con este, de la fase continua del lodo, de las funciones específicas que debe cumplir, del tipo de formación que se esté perforando y de las propiedades requeridas para el fluido. Existe varios tipos de aditivos como densificantes, viscosificantes, controladores de filtrado, estabilizadores de lutitas, ajustadores de pH, surfactantes, controladores de corrosión, entre otros. [6]

#### **1.3.1 Aditivos según su origen**

Según la API estas sustancias o compuestos pueden ser catalogadas en diferentes categorías dependiendo de su obtención. Los de origen natural, que son polímeros provenientes de fuentes naturales que debido a esto poseen estructuras moleculares complejas con elevados pesos moleculares. Sin embargo, a la hora de usarse como un aditivo de un fluido de perforación debe de realizarse algunos procesos como separación y trituración entre otros, un ejemplo de estos son la celulosa y el almidón. Por otro lado, están los naturales modificados que son aquellos aditivos que provienen de los polímeros naturales y por causa de algunas modificaciones realizadas a través de reacciones con otras sustancias estos sufren en sus estructuras moleculares y en sus propiedades una serie de cambios que dan lugar a compuestos o sustancias completamente distintas a aquellas que les da origen, algunos de los polímeros modificados más conocidos en la industria son la carboximetil celulosa (CMC) o la celulosa polianiónica (PAC). Por último, se tienen los aditivos sintéticos que consisten en polímeros obtenidos de diversas sustancias derivadas de los hidrocarburos y que se sintetizan de forma química para lograr tener el tamaño y composición deseados para que este tenga las propiedades necesarias para cumplir con determinada función, por tal motivo suelen poseer estructuras moleculares más pequeñas y flexibles. Sin embargo, por su origen y estructuras estos suelen afectar la viscosidad y propiedades reológicas de una manera más significativa que los otros polímeros. Un ejemplo de estos aditivos es la Poliacrilamida Parcialmente Hidrolizada (PHPA). [5]

### ***1.3.2 Según su función***

Los aditivos de un fluido de perforación también pueden ser catalogados en diversas secciones según la función que cumplan y sus efectos en los lodos.

Teniendo en cuenta lo desarrollado en el Manual de Fluidos de la empresa PDVSA estas categorías son las descritas a continuación, cabe resaltar que un aditivo puede estar en más de una de estas puesto que existen sustancias que pueden cumplir varias funciones a la vez. En primer lugar, se tienen los densificantes que son elementos fáciles de manipular y no tóxicos, empleados para aumentar la densidad del lodo, ayuda a manejar las presiones de formación y posibles colapsos en el pozo, algunos de estos materiales son la bentonita, la barita, la hematita y el carbonato de calcio.

Adicionalmente, están los viscosificantes que son aquellos elementos adicionados a los fluidos de perforación para mejorar la capacidad de retirar los recortes y sólidos provenientes de la formación. No obstante, los viscosificantes existentes no poseen la misma efectividad de limpieza puesto que estos pueden sufrir interferencias mecánicas y químicas producidas por el contacto con el medio ambiente, los materiales más conocidos son la carboximetil celulosa (CMC), la goma xántica y la bentonita que sirve como agente densificador y viscosificador. [6]

Por otra parte, PDVSA también enuncia los controladores de filtrado que se emplean para mitigar las pérdidas de la fase continua (líquida) generadas por la presión diferencial para evitar eso estos aditivos pueden formar un revoque impermeable, otros generan un incremento en la fase continua y otros disminuyen la permeabilidad de la formación con partículas de menor tamaño, algunas de las sustancias más empleados son la bentonita, almidones, polímeros y el carbonato de calcio. Otro tipo de aditivo son los controladores de reología, cuya interacción es con la reología que se ve mejorada por los agentes viscosificantes cuando esta es baja, cuando esta es alta por desfloculantes y dilución, los compuestos generalmente empleados son lignosulfonatos, lignitos y polímeros. También es importante mencionar los controladores de pH que son sustancias empleadas para ajustar el pH del fluido con la intención de obtener el mejor rendimiento del lodo, se emplean compuestos con el hidróxido de potasio, la soda cáustica y la cal. [6]

Posteriormente, la empresa Petróleos de Venezuela S.A. describe los controladores de pérdidas de circulación cuya función es ayudar regular las pérdidas de circulación parciales o totales que puedan a llegar a ocurrir durante los procesos de perforación, para esto se hace uso de materiales como la fibra celulósica empleado en formaciones no productoras, también se utiliza el grafito siliconado con fibra celulósica micronizada revestido con gilsonita para el control de micro fracturas en formaciones que no producen hidrocarburos y el carbonato de calcio en formaciones productoras es bastante efectiva al ser un agente puenteante. Además, se usan suministradores de lubricidad considerando que fenómenos de perforación como el torque y el arrastre afectan la rotación de la sarta y los viajes de la tubería, con la intención de mitigar estos problemas

haciendo uso de lubricantes como aceites minerales, surfactantes, grafito y gilsonita. Por otro lado, están los surfactantes utilizados como modificadores de la tensión interfacial del fluido de perforación, tienen varias funciones que desempeñan entre las cuales destacan manejar el grado de emulsificación, de dispersión y humectación entre otros, las sustancias más conocidas para esto son los emulsificantes, antiespumantes, lubricantes, detergentes, dispersantes y humectantes. También es de vital importancia mencionar los floculantes cuya función es retirar los sólidos incorporados durante la perforación para evitar efectos negativos en los equipos y propiedades del lodo, para estos se emplea dos métodos la floculación que consiste en la atracción o remplazo de cargas a partir de polímeros y la coagulación que consiste en el cambio de las cargas obtenida por sales adicionadas, los materiales más conocidos son la sal, la cal hidratada, la poliacrilamida, y yeso entre otros. [6]

Por otro lado, PDVSA menciona los estabilizadores de lutitas que se son utilizados con la intención de evitar el colapso generado en las formaciones sensibles al contacto con el agua, se emplean fluidos base aceite y algunos aditivos con iones inhibidores en el lodo base agua, esto con la finalidad de evitar su hinchamiento e hidratación con el agua, las sustancias más empleadas para cumplir este propósito son los asfáltenos, sales inorgánicas, polímeros sintéticos de alto peso molecular (PHPA) y la cal o el yeso. Además, hay controladores de corrosión debido a que sustancias como el  $H_2S$  y el  $CO_2$  presentes en algunas partes del subsuelo suelen afectar la sarta y conjunto de perforación generando corrosión en estas, para disminuir la cantidad de oxígeno en el fluido se evita el contacto con el aire en superficie y en caso de tener presencia de este se emplean agentes secuestradores de oxígeno como lo son las sales solubles en sulfito y cromato, para tratar el  $H_2S$  se hace uso de materiales de zinc que generan sulfuros insolubles. Finalmente, se tienen los controladores de bacterias y hongos, puesto que los lodos dependiendo de su pH y los aditivos empleados que la mayoría de las veces suelen ser de origen orgánico, pueden ser sensibles a la degradación por lo cual se hace necesario el uso de inhibidores para evitar la presencia de hongos y bacterias, las sustancias comúnmente usadas son los sulfuros orgánicos, las amidas cuaternarias, aldehídos y cloroformoles. [6]



## **1.4 Uso de la naranja en la industria petrolera**

En esta sección se profundiza las características de la naranja y sus propiedades, con la intención de que esta sea la base teórica para la fabricación de un aditivo biodegradable de origen orgánico para ser usado en la industria petrolera como agente controlador de filtrado y mejorador del perfil reológico de un fluido de perforación base agua, puesto que esta es una fruta rica en glucosa y material fibroso, que son sustancias y materiales usadas para la obtención de agentes controladores de filtrado y viscosificantes.

### **1.4.1 Generalidades de la naranja**

La naranja, según sostiene la bióloga D.A. Polanco, es un fruto obtenido de los cultivos de naranjo y pertenece a la familia Rutáceas, del género citrus. [12]

### **1.4.2 Clasificación**

En las naranjas destacan de manera principal dos especies que dan diferentes tipos de naranja que se emplean para diferentes usos en diversas industrias. Teniendo en cuenta lo que dice la bióloga D.A. Polanco, la naranja dulce cuyo nombre científico es la Citrus Sinensis es una especie de naranja cuya particularidad es su gran contenido de zumo en el fruto. Esta es empleada para la preparación de jugos y el consumo de su pulpa. Además, la naranja amarga conocida científicamente como la Citrus Aurantium es un tipo de naranja cuyo sabor y zumo son más ácidos. Esta se emplea para la preparación de mermeladas, licores y aceites esenciales. [12]

### **1.4.3 Composición de la naranja**

La naranja se encuentra por varios conjuntos de sustancias y elementos que se pueden poner en categorías. La empresa Naranjas Ribera del Júcar menciona los siguientes grupos de sustancias, Los Hidratos de carbono, que son los de mayor presencia en la naranja, destacan la sacarosa, la fructosa y glucosa que son azúcares solubles, estos representan la mayor parte del aporte calórico de la naranja y a su vez existen otras sustancias sin aporte calórico y con alto contenido de fibra como las

pectinas solubles e insolubles. Posteriormente, se indican los ácidos orgánicos en los cuales la sustancia de mayor presencia es el ácido cítrico con una concentración del 80 al 85%, la relación existente entre los azúcares y los ácidos orgánicos generan un equilibrio y brindan el sabor dulce característicos de la fruta. También se nombran a los aminoácidos como a aquellas sustancias que tienen presencia de nitrógeno como la prolina, la arginina, la asparagina y el ácido aspártico. [13]

Adicionalmente Naranjas Ribera del Júcar enlista a los minerales, los cuales en su mayoría son el potasio y el sodio, con una pequeña presencia de calcio en las sales insolubles. Por último, están las vitaminas donde las que más destacan son la vitamina C (ácido ascórbico), la vitamina B6 (piridoxina), la vitamina B1 (tiamina), la vitamina B2 (riboflavina), el ácido pantoténico, la biotina, el ácido fólico y el inositol. [13]

En la tabla 4 se aprecia las concentraciones de las principales sustancias que componen la naranja, desglosado en sus diferentes estructuras.

**Tabla 4**

*Composición de la naranja*

<b>Componente</b>	<b>Cáscara</b>	<b>Gajo</b>	<b>Zumo</b>
<b>Agua</b>	72,50	85,20	87,10
<b>Azúcares</b>	7,60	9,10	9,70
Glucosa y fructosa	5,60	4,70	5,00
Sacarosa	2,00	4,40	4,70
<b>Ácidos</b>	0,29	0,75	1,02
<b>Sustancias nitrogenadas</b>	1,50	1,10	1,00
<b>Lípidos</b>	0,28	0,30	0,29
<b>Cenizas</b>	0,78	0,48	0,34
<b>Sólidos totales disueltos</b>	15,70	13,10	12,60

**Nota.** La tabla muestra la composición de la naranja en sus diferentes estructuras y esta es expresada en g de componente/100 g de naranja. Tomado de: Naranja Ribera del Júcar. Composición de la naranja. [En línea]. <https://cutt.ly/2Qp3E8b>

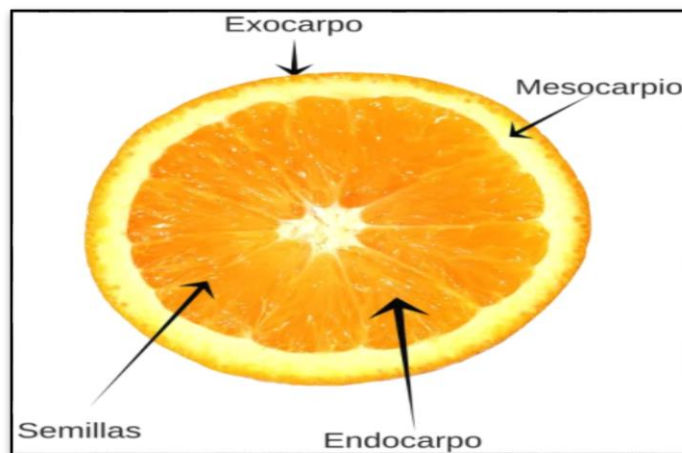
#### **1.4.4 Estructura**

La naranja una anatomía bastante simple que se encuentra compuesta por 3 partes fundamentales que son iguales para todos los tipos y clasificaciones de esta. La bióloga D.A. Polanco describe 3 estructuras fundamentales, el endocarpio también conocido como la pulpa, es la parte que contiene el zumo del fruto y las semillas en el eje central de la naranja y posee membranas que separan la fruta por sacos. Adicionalmente, existe el exocarpio que es la cáscara de la naranja, que puede ser verde o naranja dependiendo del grado de madurez de la fruta. Finalmente, está el mesocarpio que es denominado el albedo, es la parte blanca de la cáscara de la naranja, blanda y con contenido de pectinas y glucósidos. [12]

En la figura 4 se muestra el esquema que compone las principales estructuras de una naranja.

#### Figura 4.

##### *Anatomía de una naranja*



**Nota.** Anatomía y estructura de la naranja.  
Tomado de: Naranjas del Carmen. “Anatomía de una naranja”. [En línea]. <https://cutt.ly/CQp3Ad6>  
[Acceso: 31, agosto, 2020]

### 1.5 Aditivos orgánicos para fluidos de perforación

Los aditivos orgánicos y biodegradables según A. Taleb et al, en su investigación realizada con apoyo de la Missouri University of Science and Technology en la cual desarrollaron un estudio sobre si los desechos de los productos alimenticios podían ser usados como agentes reductores de pérdida de filtrado y diluyentes, caracterizan a estos aditivos como a todos aquellos que su obtención y diseño se realiza a partir del aprovechamiento de residuos naturales sin pasar por un proceso de síntesis química en el laboratorio, gracias a esto poseen estructuras moleculares simples. Por otra parte, su efecto en el medio ambiente es casi mínimo o imperceptible y con la salud de las personas que manipulan estos aditivos. [2]

### ***1.5.1 Aditivos a partir de la cáscara de papa***

A. Taleb et al, en su investigación previamente mencionada en la sección anterior desarrollan un aditivo a partir de las cáscaras de la papa que es un residuo orgánico principalmente compuesto por almidón, donde ellos emplearon este desecho que es orgánico y biodegradable para la fabricación de un producto que ayude a controlar propiedades de los fluidos de perforación tales como el filtrado, punto cedente y fuerza de gel. Usando un proceso de secado y triturado consiguieron un aditivo en polvo de cáscara de papa para ser utilizado en el diseño de un lodo de inicio base agua. [2]

### ***1.5.2 Aditivos a partir de la cáscara de mandarina***

Del mismo modo A.T. Al-Hameedi et al, investigaron el aprovechamiento de las cascaras de mandarina que también es un residuo orgánico y biodegradable, el cual fue utilizado como aditivo para el diseño de lodos base agua, principalmente para el control de filtrado, reología y pH. [3]

## 2. METODOLOGÍA

En esta sección se describe la metodología empleada para el cumplimiento de los objetivos de este trabajo de grado.

### 2.1 Fabricación del aditivo orgánico biodegradable con cáscaras de naranja

En esta sección se desglosa la metodología empleada para el cumplimiento del primer objetivo el cual es la obtención del aditivo orgánico biodegradable en polvo preparado a partir de las cáscaras de naranja, cabe resaltar que el procedimiento seguido en dicho proceso se basó en el artículo Controlling Drilling Fluid Properties Using Bio-Degradable Environmental Friendly Additives: Comparison Between Conventional Chemical (PAC-LV) and Eco-Friendly Drilling Fluid Additives desarrollado por A.T. Al-Hameedi et al. Quienes sostienen que obtuvieron buenos resultados al preparar un aditivo en polvo empleando las cáscaras de la mandarina para ver su efecto y rendimiento como un aditivo encargado de controlar el filtrado y el perfil reológico de un lodo de inicio base agua. [3]

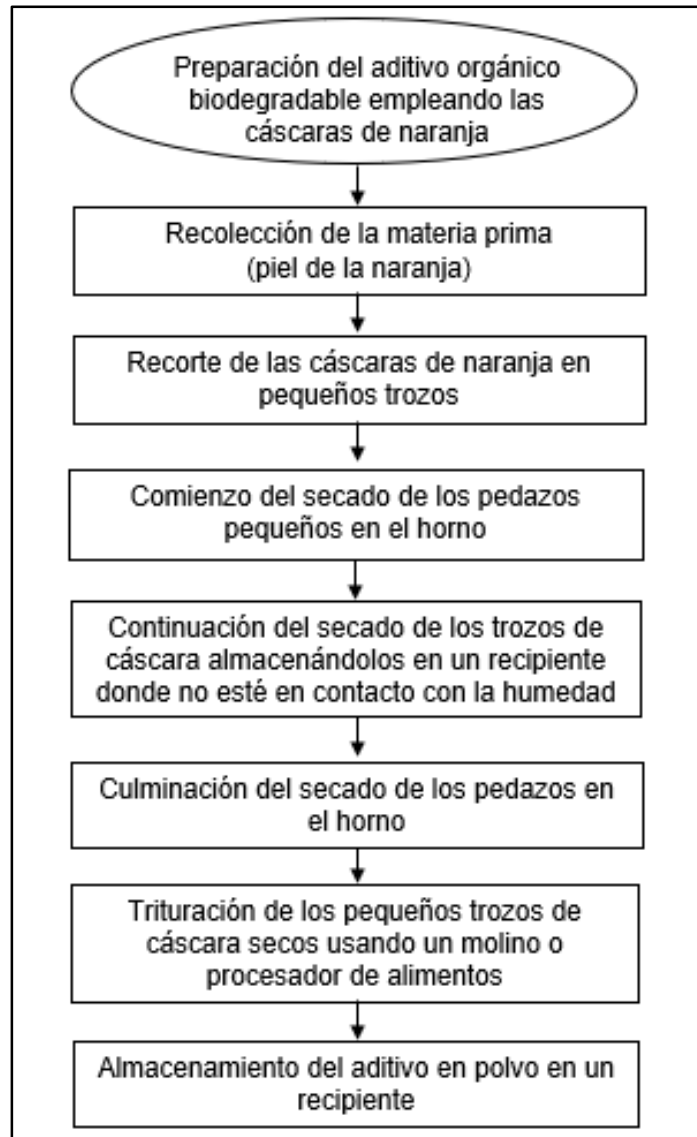
#### 2.1.1 Preparación del aditivo en polvo

El proceso realizado para convertir las cáscaras de naranja en un aditivo en polvo para un lodo de perforación requiere la disposición de una buena cantidad de piel de naranja, por tal motivo es necesario tener un gran número de esta fruta y desechar en su totalidad el endocarpio que contiene la pulpa y membranas, con la finalidad de poder proceder al secado de su cáscara que se encuentra compuesta por el mesocarpio y el exocarpio, una vez se tenga únicamente la piel de la naranja se debe cortar en trozos más pequeños la piel de la fruta, después se hará el uso del horno para su secado por un periodo de 2 horas a 95°C, posteriormente se dejara secar en un recipiente durante 7 días para continuar con el proceso de deshidratación evitando que el material entre en contacto con un ambiente húmedo donde pueda generarse microorganismo y bacterias que afecten el procedimiento, al final dicho periodo la materia será metida al horno nuevamente durante dos horas a la misma temperatura, finalmente se triturará en un procesador de comida para garantizar la correcta fabricación del aditivo en polvo.

En la figura 5 se aprecia el diagrama de flujo con las diferentes etapas para poder obtener el aditivo objeto de estudio de este trabajo.

**Figura 5.**

*Diagrama de fabricación del aditivo*



**Nota.** Diagrama que muestra cada etapa que debe ser realizada para la obtención del aditivo en polvo.

A continuación, se explica el procedimiento realizado y desarrollado en cada etapa del diagrama de flujo.

Recolección de la materia prima (piel de la naranja), En esta primera etapa es donde se toma grandes cantidades de naranja y se retira toda su pulpa y membranas interiores que constituyen el endocarpio, para la obtención y almacenamiento de las cáscaras que es el material empleado para la fabricación del aditivo.

En la figura 6 se observa cómo se separa el zumo, la pulpa y membranas del endocarpio para adecuar la cáscara que es compuesta por el exocarpio y mesocarpio de la naranja, que en este estudio es considerado la materia prima para la obtención del aditivo.

**Figura 6.**

*Disposición de las cáscaras de naranja*



**Nota.** Procedimiento de acondicionamiento de la naranja, retirando pulpa y membranas, dejando exocarpio y mesocarpio.

La figura 7 plasma de manera clara y concisa como debe quedar adecuada la piel de la naranja para posteriormente poder llevar a cabo de manera pertinente el proceso de secado.



**Figura 7.**

*Recolección de la materia prima.*



**Nota.** Cáscaras de naranja lista y acumulada para la fabricación del aditivo.

Recorte en trozos. En esta fase los pedazos grandes de la materia prima se recortan en unos de menor tamaño para facilitar el secado de la piel de la naranja.

La figura 8 plasma la forma en que debe disponerse la cáscara de naranja y como quedan después de ser cortadas en pequeñas partes.

**Figura 8.**

*Recorte en trozos de la materia prima*



**Nota.** Las cáscaras de naranja recortadas en pequeños trozos.

Para iniciar el proceso de secado de la materia prima se introduce una buena cantidad de los trozos de la piel de la naranja al horno a una temperatura 95°C durante un periodo de dos horas.

En la figura 9 se evidencia como es el proceso de inicio del secado de las tiras o trozos de cáscara de la naranja en el horno.

**Figura 9.**

*Comienzo del secado de la materia prima en el horno.*



**Nota.** La materia prima en el horno en el inicio del proceso de secado.

Continuando con el secado, después de haberse horneado durante el periodo de al menos dos horas, se saca del horno, se retira de la bandeja, se esperan unos dos o tres minutos para que se enfríe un poco y se almacena en un recipiente o bolsa plástica durante 7 días aislándolo de cualquier tipo de humedad para evitar que se hidrate nuevamente.

La figura 10 presenta como se queda la materia prima después de ser retirada del horno y como se pone en un recipiente para seguir el proceso de secado.

**Figura 10.**

*Continuación del secado en un recipiente.*



**Nota.** Los trozos de materia prima siguen secándose después de su paso por el horno.

Finalmente la culminación del secado se da por terminado tomando los trozos pequeños de las cáscaras de naranja que llevaban 7 días aislados para introducirlos nuevamente en el horno de la misma forma mencionada anteriormente a una temperatura 95°C por 2 un tiempo de al menos 2 horas.

En la figura 11 se puede observar el estado en que quedan los pedacitos de cáscara de naranja después de ser retirados del horno y de haber sido deshidratados y oxidados completamente.

**Figura 11.**

*Materia prima después de la culminación del secado*



**Nota.** Estado final de la materia prima una vez se culmina el proceso de secado.

Iniciando con el triturado el cual es la etapa donde finalmente se obtiene el aditivo orgánico biodegradable en polvo, el procedimiento a seguir es tomar la piel de la naranja ya completamente seca y triturarla haciendo uso de un molino o un procesador de alimentos para garantizar la transformación de este un material bastante fino.

En la figura 12 se aprecia cómo se hace uso de un molino para la conversión de la piel de la naranja en un polvo fino.

**Figura 12.**

*Trituración de la materia prima con molino*



**Nota.** Proceso de trituración de la materia prima con un molino.

En la figura 13 se puede observar como también se puede hacer uso de un procesador de alimentos para la transformación de las cáscaras de naranja en polvo.

**Figura 13.**

*Trituración de la materia prima con procesador de alimentos*



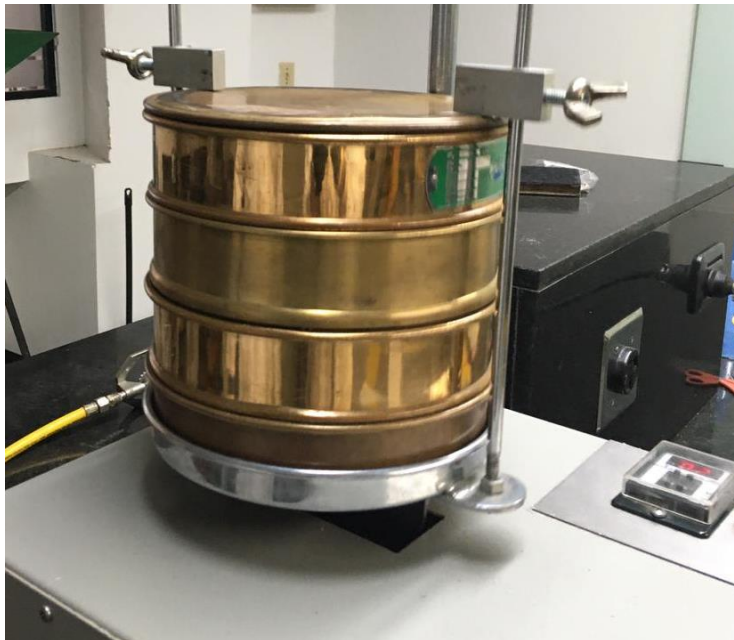
**Nota.** Proceso de trituración de la materia prima con un procesador de comida.

Luego del triturado sigue el proceso de tamizado del aditivo. En esta etapa se tamiza la materia obtenida después del procedimiento previo para obtener únicamente el polvo y evitar que algunos trozos grandes que puedan quedar del proceso de trituración afecten la disolución del aditivo en el fluido de perforación y lograr una mezcla que sea lo más homogénea posible, para esto se hizo uso del tamiz de sólidos usando una configuración compuesta por 3 mallas de tamaños diferentes 710  $\mu\text{m}$ , 600  $\mu\text{m}$  y 355  $\mu\text{m}$ , con la intención de que el polvo obtenido sea lo más fino posible.

La figura 14 muestra el tamiz de sólidos y la configuración que se usó durante este proceso.

**Figura 14.**

*Obtención del aditivo en polvo a través del tamiz de sólidos*



**Nota.** Proceso de tamizado de la materia haciendo uso de un tamiz de sólidos con mallas de diferente tamaño.

Finalmente, se procede a acumular y almacenar el aditivo en polvo en un recipiente para evitar cualquier contacto con la humedad o el agua.



En la figura 15 se evidencia cómo se dispone el aditivo orgánico biodegradable en polvo para ser almacenado en un recipiente.

**Figura 15.**

*Almacenamiento del aditivo orgánico biodegradable en polvo*



**Nota.** El polvo del aditivo orgánico biodegradable se guarda en un recipiente para su almacenamiento.

## 2.2 Evaluación del rendimiento de un lodo de inicio convencional

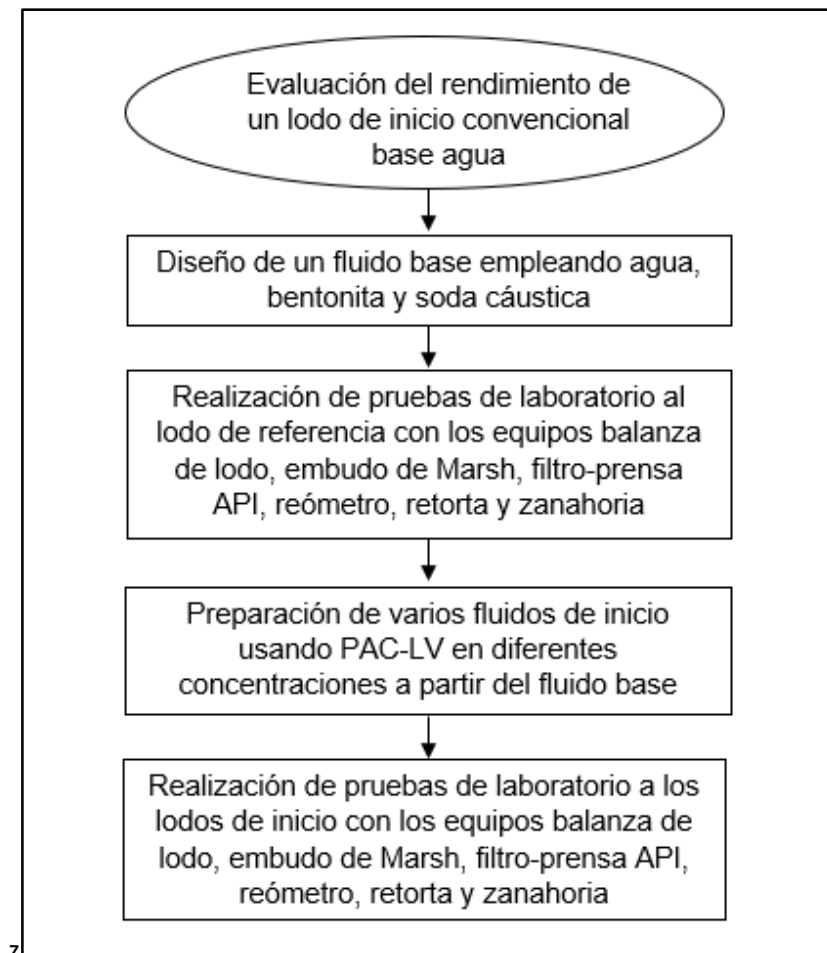
En esta parte del trabajo se explica la metodología empleada para el cumplimiento del segundo objetivo, para lo cual se empieza con el diseño de un lodo de inicio base haciendo uso de los aditivos bentonita y soda cáustica, el cual es sometido a pruebas físicas para determinar sus propiedades y así tomarlo como referencia para evaluar su rendimiento al adicionarle el aditivo Celulosa Polianiónica de baja viscosidad (PAC-LV) en varias concentraciones en un rango entre el 0,1 y el 5% concentración m/v, para así poder determinar la concentración óptima de dicho aditivo. Cabe resaltar que para la formulación de dicho fluido base se hará empleando la misma cantidad de agua y la misma concentración para los aditivos empleada en el artículo de investigación artículo Controlling Drilling Fluid Properties Using Bio-Degradable Environmental Friendly Additives: Comparison Between Conventional Chemical (PAC-LV) and Eco-Friendly

Drilling Fluid Additives realizado por A.T. Al-Hameedi et al con el apoyo de Missouri University of Science and Technology.

La figura 16 es plasma el procedimiento que se llevara a cabo en el laboratorio

**Figura 16.**

*Evaluación del rendimiento de un lodo de inicio convencional*



**Nota.** Diagrama que describe el proceso seguido para la pertinente valoración del desempeño de un lodo de inicio convencional.

A continuación, se hará la descripción detalladamente de cada una de las fases que componen el diagrama de la figura 16.

### **2.2.1 Diseño de un fluido base**

En esta etapa se formulará un fluido base, para lo cual se tomará 600 centímetros cúbicos (cm<sup>3</sup>) de agua de la llave y se le adicionarán 36 gramos (gr) del aditivo densificador bentonita y 0,6 gramos (gr) del agente ajustador de pH soda cáustica. Después, se deberá mezclar lenta y adecuadamente la mezcla hasta conseguir un fluido homogéneo.

### **2.2.2 Realización de pruebas físicas al lodo de referencia**

En esta parte del proceso se comenzará la caracterización y determinación de las propiedades del fluido de referencia a escala de laboratorio, cabe resaltar que el trabajo se centra en las características físicas. No obstante, se realiza una caracterización química para tener un análisis más completo, para lo cual se realizarán una serie de pruebas que se explicarán más adelante con sus respectivos equipos y procedimientos.

Cabe resaltar que estas mediciones se realizaran siguiendo la norma API 13 B-1 que es la norma recomendada para la práctica en campo de las pruebas de laboratorio a las que son sometidos los fluidos de perforación base agua, esta a su vez hace parte de la ISO 10414. Estas normas son las encargadas de estandarizar los conceptos y procedimientos que se deben tener en cuenta en esta área para la industria de petróleo y gas.

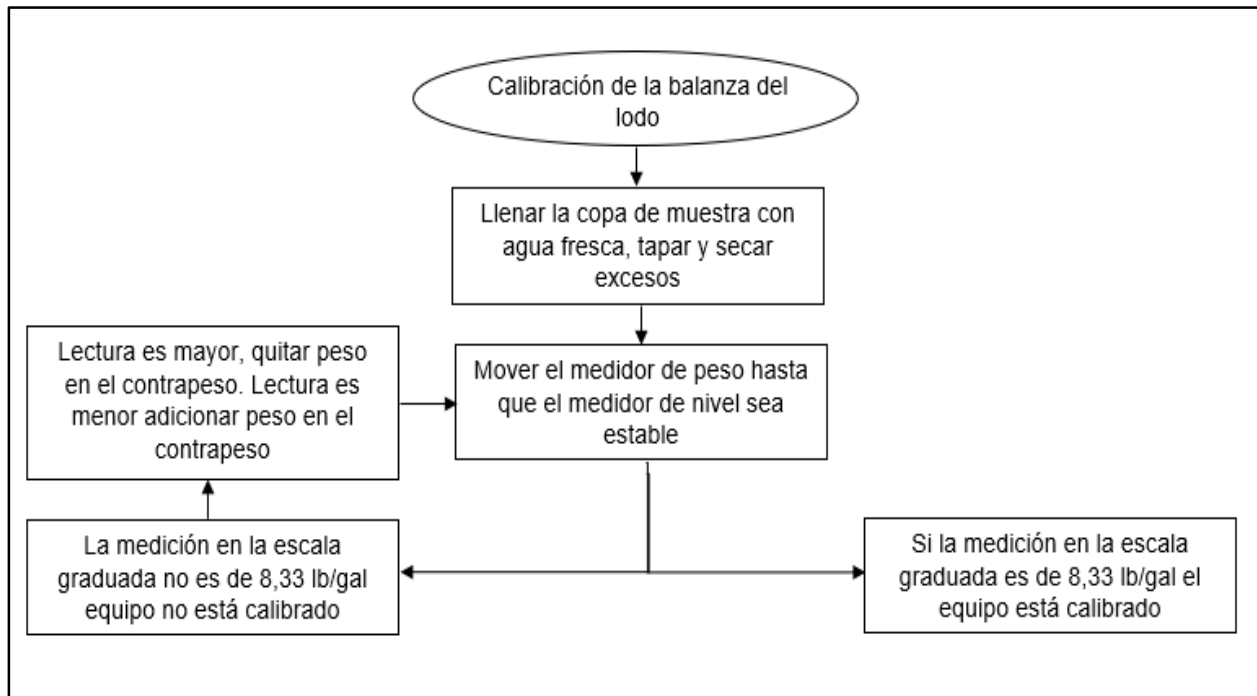
El Peso del lodo, según lo descrito en la norma API 13 B-1 esta es una prueba realizada para determinar la densidad dada a determinado volumen del fluido, que es una medida equivalente a la densidad del fluido por eso su medida es libras por galón (lb/gal). Para esta medición se emplea el instrumento conocido como la balanza del lodo que es un equipo que en un extremo posee una copa para depositar la muestra a analizar y que se encuentra balanceado por un contrapeso en el otro extremo del equipo, contiene un medidor de peso que se mueve a través de una escala graduada. En la mitad de la balanza posee un medidor de nivel con una gota de aire que indica si la medición es correcta o no. [7]



Es importante realizar la calibración del equipo antes de llevar a cabo la medición de la densidad del lodo, de tal manera que esta brinde datos fiables y que reflejen información verdadera teniendo en cuenta el fluido con el que se está trabajando. En la figura 17 se describe el proceso de calibración que se realiza con agua antes de medir la densidad del fluido base.

**Figura 17.**

*Diagrama de flujo para la calibración de la balanza de lodo*



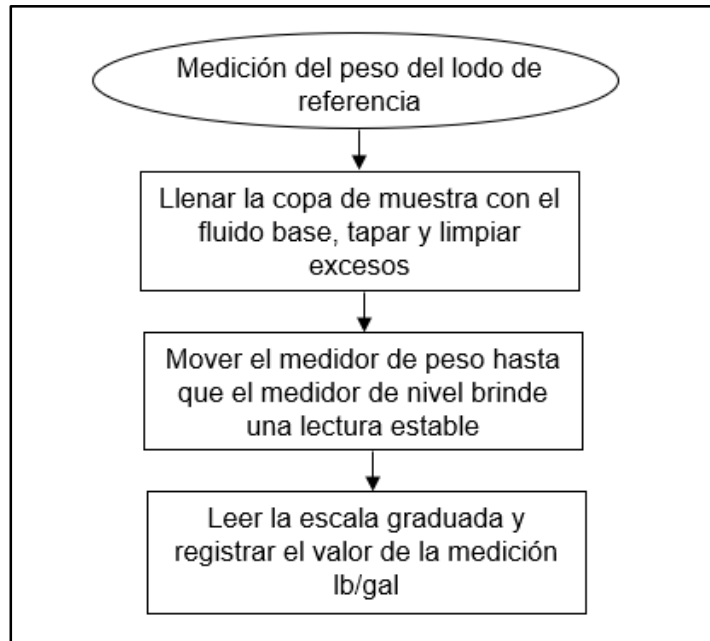
**Nota.** El diagrama explica el proceso a seguir para calibrar de manera correcta la balanza de fluido de perforación.

Una vez se garantice que el instrumento se encuentra calibrado correctamente, se procederá a realizar la medición de la densidad al lodo.

En la figura 18 se puede apreciar el respectivo diagrama de flujo que describe el paso a paso del procedimiento llevado a cabo para la pertinente medición de la densidad del fluido que se está estudiando.

**Figura 18.**

*Diagrama de flujo para la medición del peso del lodo*



**Nota.** El diagrama describe el paso a paso para medir la densidad del lodo.

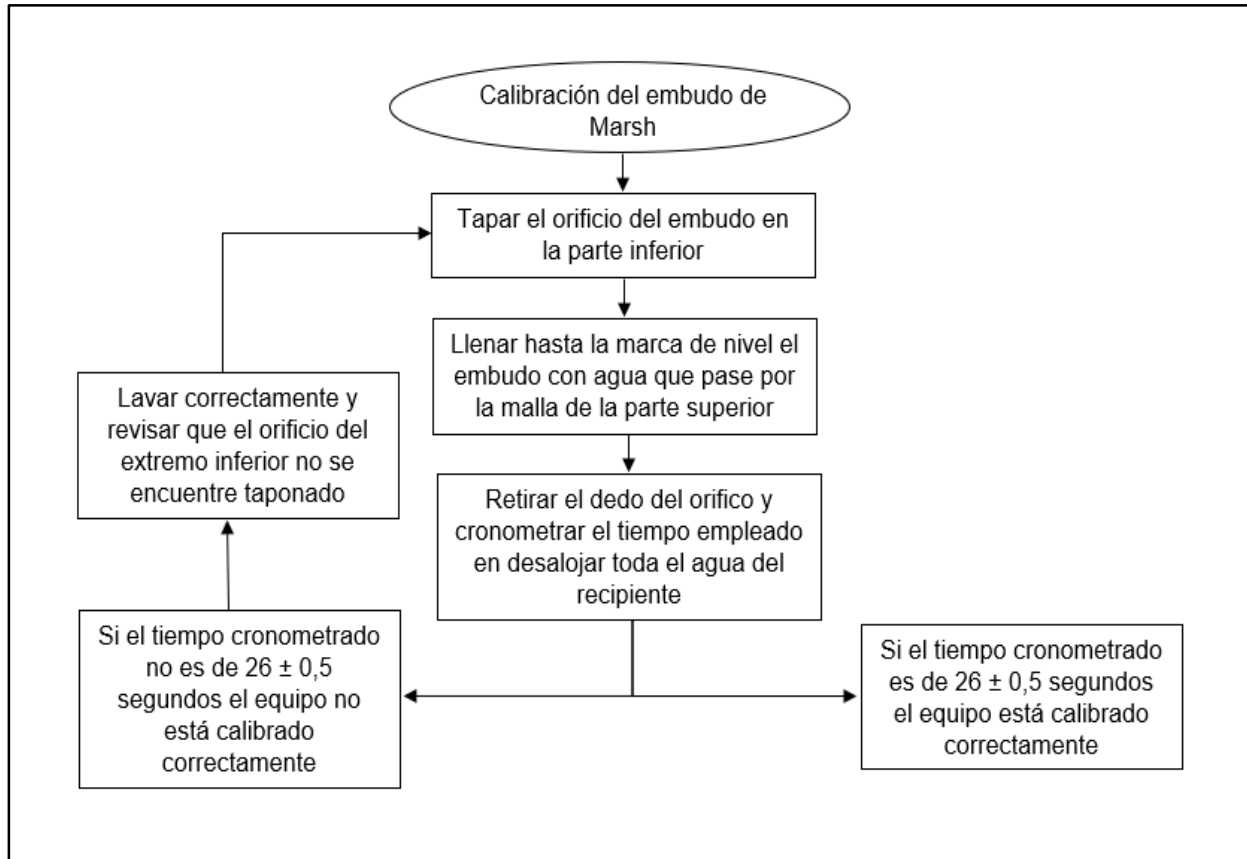
La viscosidad de embudo según La norma API 13 B-1 la describe como una medición que se hace de forma rutinaria para determinar el valor promedio de la viscosidad y de la interacción intermolecular (fricción) del fluido. Se realiza con el instrumento conocido como el Embudo de Marsh, el cual está compuesto por un orificio en la parte inferior con 2 pulgadas (in) de largo y 3/16 de pulgada (in) de diámetro, posee en su extremo superior una malla con orificios de 1/16 pulgadas (in) (12 mesh) por donde pasa el fluido para llenar la capacidad de embudo que es de 1/4 de galón. Esta prueba mide el tiempo necesario para desalojar 1/4de tanque de fluido por tal motivo su medición se reporta en segundos por cuarto de tanque (seg/qt). [7]

Se realiza la calibración para garantizar que la prueba se corra de manera correcta y para asegurar que no haya partículas o solidos taponando el orificio de salida del embudo, que puedan interferir con la medición.

En la figura 19 se muestra el diagrama de flujo que explica el proceso de calibración del embudo de Marsh.

**Figura 19.**

*Diagrama de flujo de la calibración del embudo de Marsh*

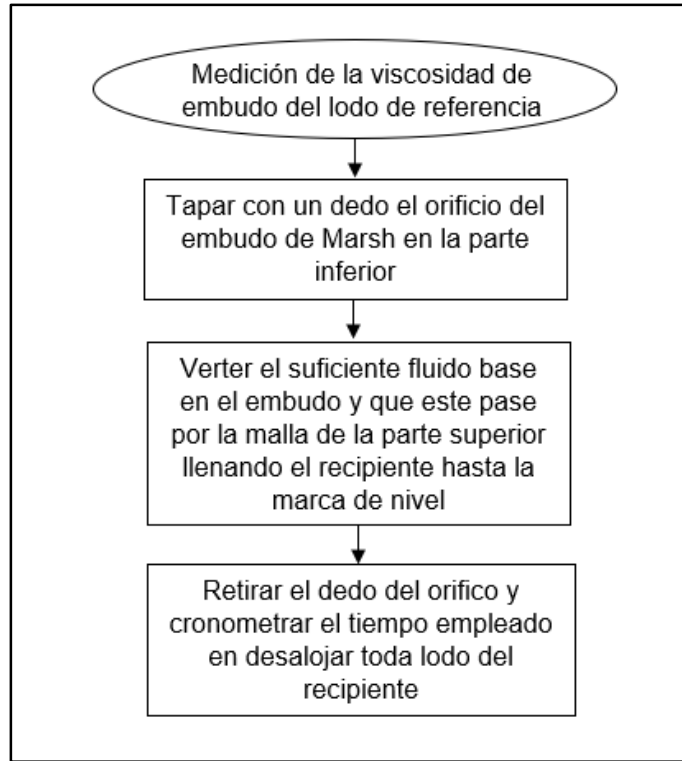


**Nota.** Diagrama que explica el proceso para el ajuste y calibración del embudo de Marsh de manera correcta.

En la figura 20 se plasma el diagrama de flujo que describe el paso a paso para realizar la medición de la viscosidad de embudo de manera apropiada a la muestra del lodo que está siendo estudiado.

**Figura 20.**

*Diagrama de flujo para la medición de la viscosidad de embudo*



**Nota.** Diagrama que describe el proceso a seguir para la toma de la viscosidad de embudo.

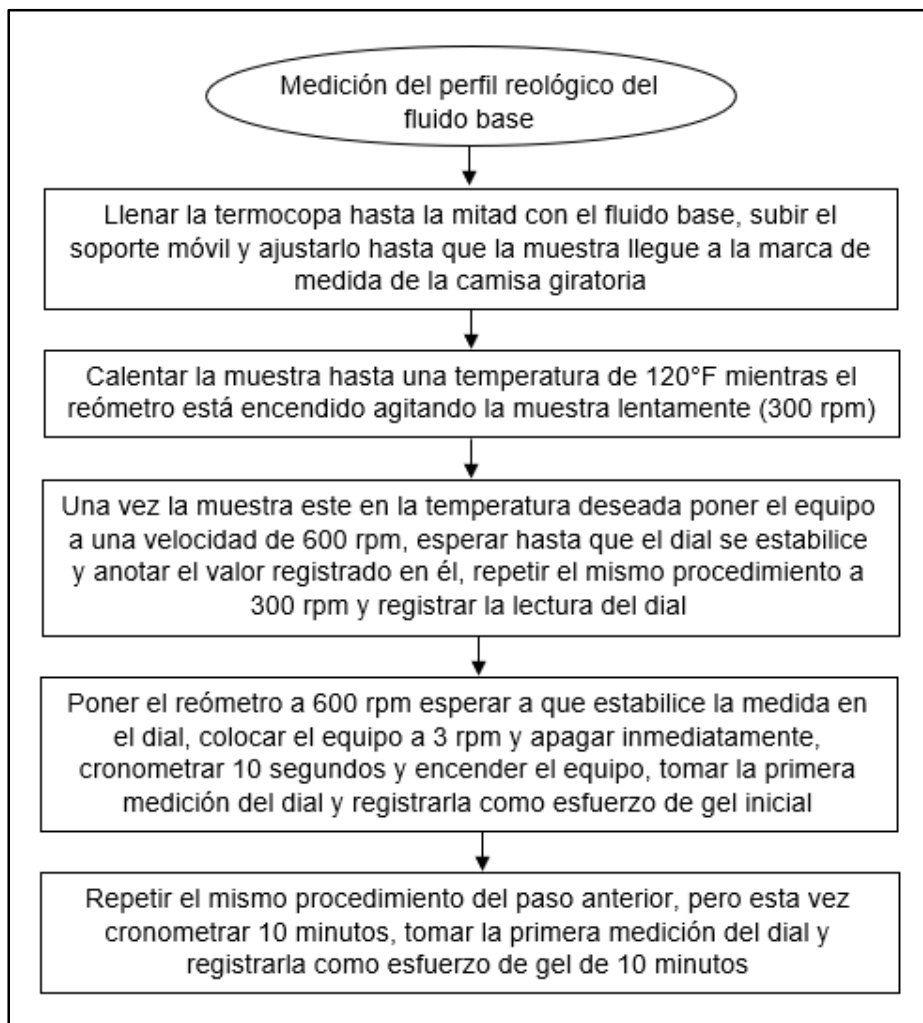
La viscosidad por reómetro como sostiene la norma API 13 B-1 esta es una prueba realizada para determinar la viscosidad aparente, la viscosidad plástica, el punto cedente y los esfuerzos de geles inicial y a los 10 minutos. Se emplea el viscosímetro de velocidades rotacionales variables que consta con velocidades de 600 revoluciones por minuto (rpm) o 600R, de 300 rpm (300R), de 200 rpm (200R), DE 100 rpm (100R), 6 rpm (6R) y 3 rpm (3R). El equipo para esta medición está constituido por una termocopa que calienta el fluido a una temperatura específica, contiene una camisa rotaria encargada de mover el fluido, una palanca para cambiar las velocidades y un dial que registra los valores de la medición. Cabe resaltar que este es un equipo muy sensible y delicado por

lo cual debe tenerse mucho cuidado con su manipulación y no precisa de calibración previa para su uso. [7]

La figura 21 plasma el paso a paso que debe seguirse para determinar el valor de las propiedades que componen el perfil reológico del fluido base .

**Figura 21.**

*Diagrama de flujo de la medición del perfil reológico*



**Nota.** Diagrama de flujo que muestra el proceso llevado a cabo para determinar el perfil reológico de un fluido de perforación.

Posteriormente, al haber terminado las mediciones se procederá a calcular propiedades importantes que junto a los esfuerzos de gel instantáneo y de 10 minutos

componen el perfil reológico, las cuales son la viscosidad plástica, el punto cedente y la viscosidad a aparente haciendo uso de las siguientes formulas.

$$\text{Viscosidad Plástica (cP)} PV = R600 - R300 \quad (1)$$

En la fórmula de viscosidad plástica (1) R600 representa la medición obtenida con el reómetro a una velocidad de 600 rpm y se le resta R300 que es la medición obtenida a una velocidad de 300 rpm.

$$\text{Punto Cedente} \left( \frac{\text{lb}}{100\text{ft}^2} \right) YP = PV - R300 \quad (2)$$

En la fórmula de punto cedente (2) se usa la viscosidad plástica previamente y se le resta R300.

$$\text{Viscosidad Aparente (cP)} VA = \frac{R600}{2} \quad (3)$$

La fórmula de la viscosidad aparente (3) toma la medición obtenida a la velocidad de 600 rpm (R600) y se divide entre 2.

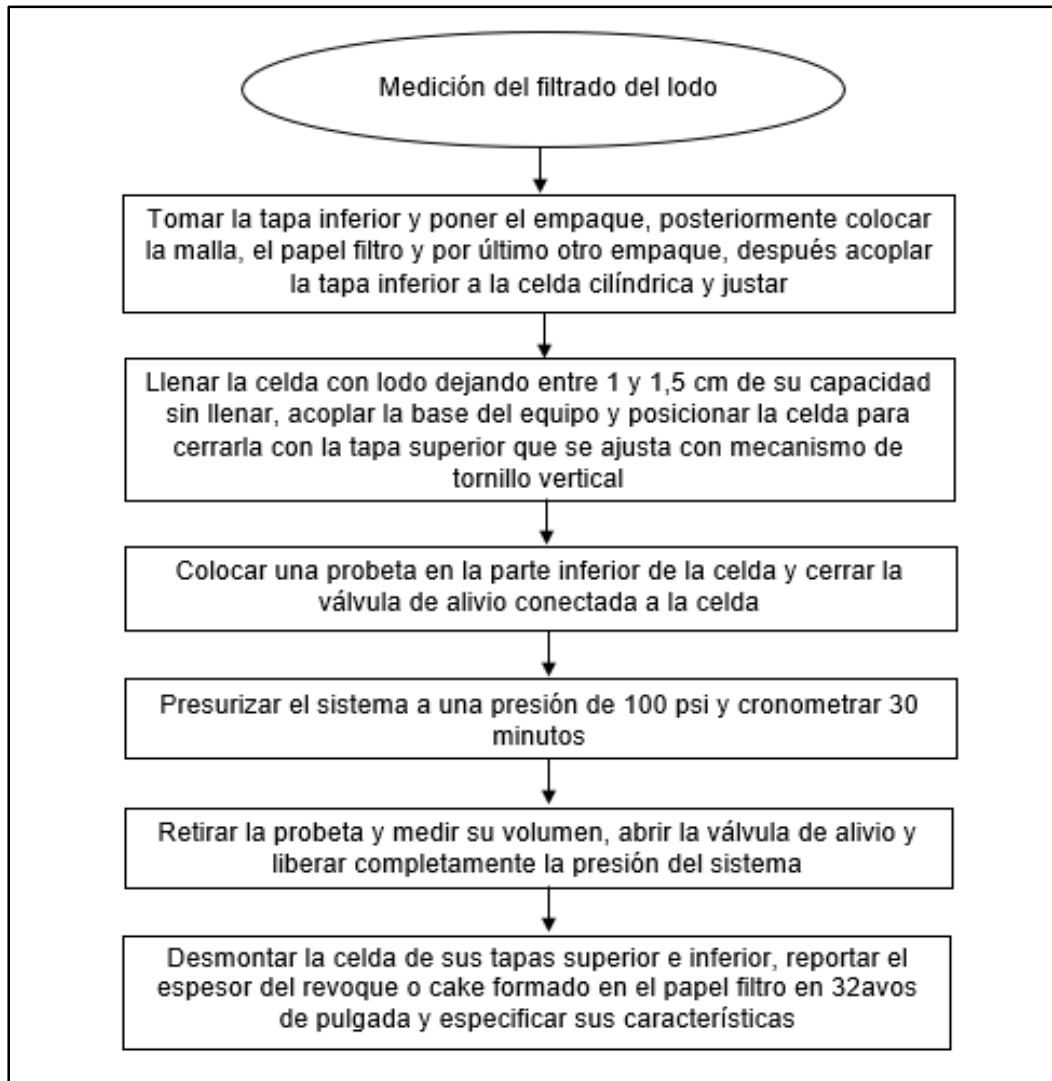
Adicionalmente los esfuerzos de gel inicial y a los 10 minutos se reportan en libras sobre 100 pies cuadrados (lb/100 ft<sup>2</sup>).

El Filtrado del lodo es la prueba encargada de determinar los mililitros (mL) de fase continua del fluido de perforación que penetra una formación permeable en un intervalo de tiempo de 30 minutos, además permite evaluar la calidad del revoque creado por el lodo al recrear condiciones similares a las del pozo. Para la medición se emplea la filtro-prensa API, el cual es equipo que posee una tapa inferior con un orificio por donde sale el filtrado, una celda con forma cilíndrica que se ajusta a la tapa inferior que se ajusta con un sistema mecánica de tornillo, estas dos se acoplan y se ponen en un soporte que tiene una tapa superior que se ajusta, también posee un presurizador. Esta prueba no precisa de una calibración previa. [7]

En la figura 22 se desglosa el procedimiento seguido para llevar a cabo de manera correcta la prueba del filtrado, haciendo uso de un diagrama de flujo.

**Figura 22.**

Diagrama de flujo de la medición del filtrado del lodo



**Nota.** Diagrama de flujo que describe como realizar la prueba del filtrado del lodo.

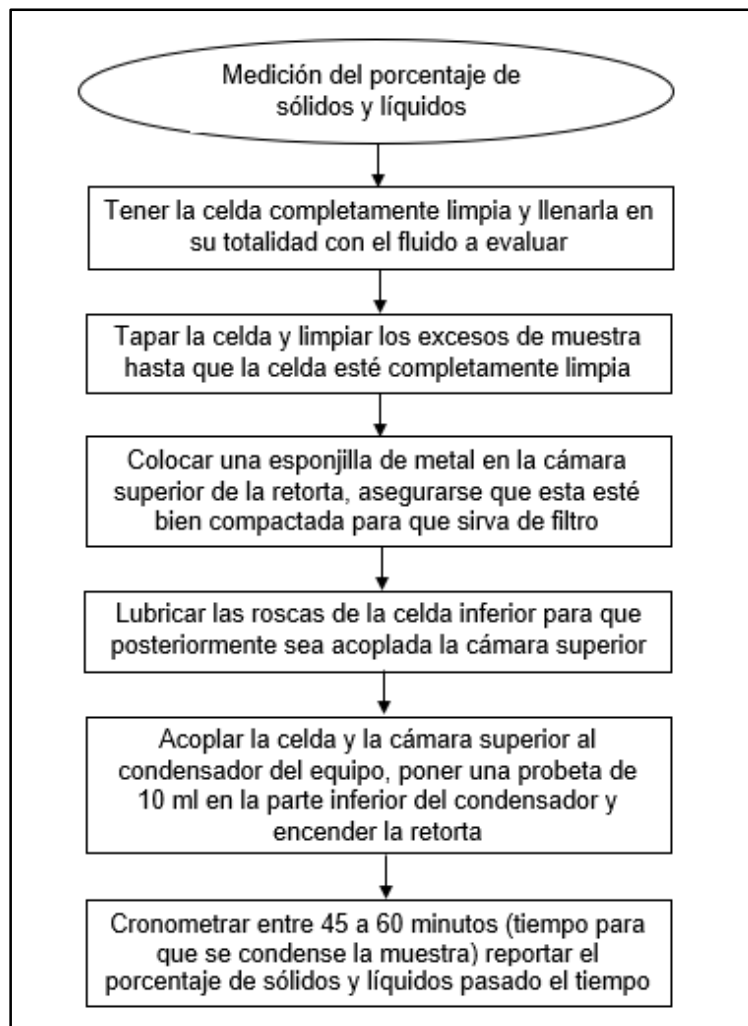
El contenido de sólidos y líquidos como se desenvuelve en la norma API 13 B-1 esta es una medición que mide la distribución porcentual de las fases que componen un fluido de perforación (sólidos y líquidos), para esto se hace uso del equipo denominado retorta el cual consta de una capsula donde se introduce la muestra, una cámara superior que contiene un medio filtrante y un condensador equipado en la unidad de calentamiento.

[7]

La figura 23 es un diagrama de flujo que explica el procedimiento realizado para poder hacer un buen uso de la unidad denominada retorta para poder calcular el porcentaje de sólidos y líquidos presentes en el fluido base.

**Figura 23.**

*Diagrama de flujo de la medición del porcentaje de sólidos y líquidos*



**Nota.** Diagrama de flujo que muestra el paso a paso a seguir para hacer la prueba de retorta en el fluido a estudiar.

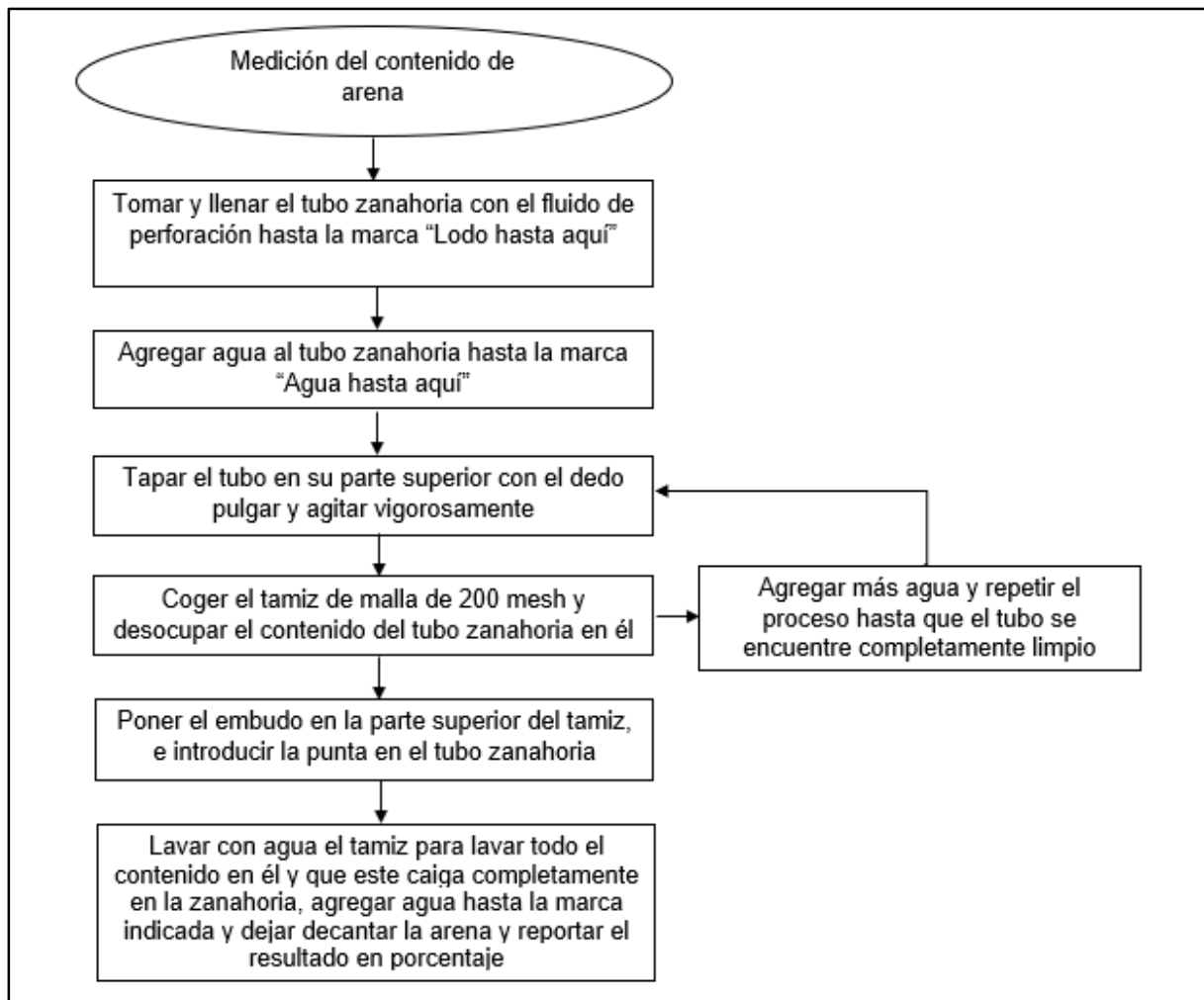


El contenido de arena, permite calcular el porcentaje de arena presente en el fluido objeto de estudio mediante un instrumento de vidrio denominado zanahoria que tiene una escala de medición del 0 al 20% de contenido de arena y de una malla de 200 mesh que permite retener partículas con un tamaño de grano mayor a 74 micrómetros ( $\mu\text{m}$ ). [7]

En la figura 24 se plasma el diagrama de flujo perteneciente a la medición del contenido de arena de un fluido de perforación.

**Figura 24.**

*Diagrama de flujo de la medición del contenido de arena*



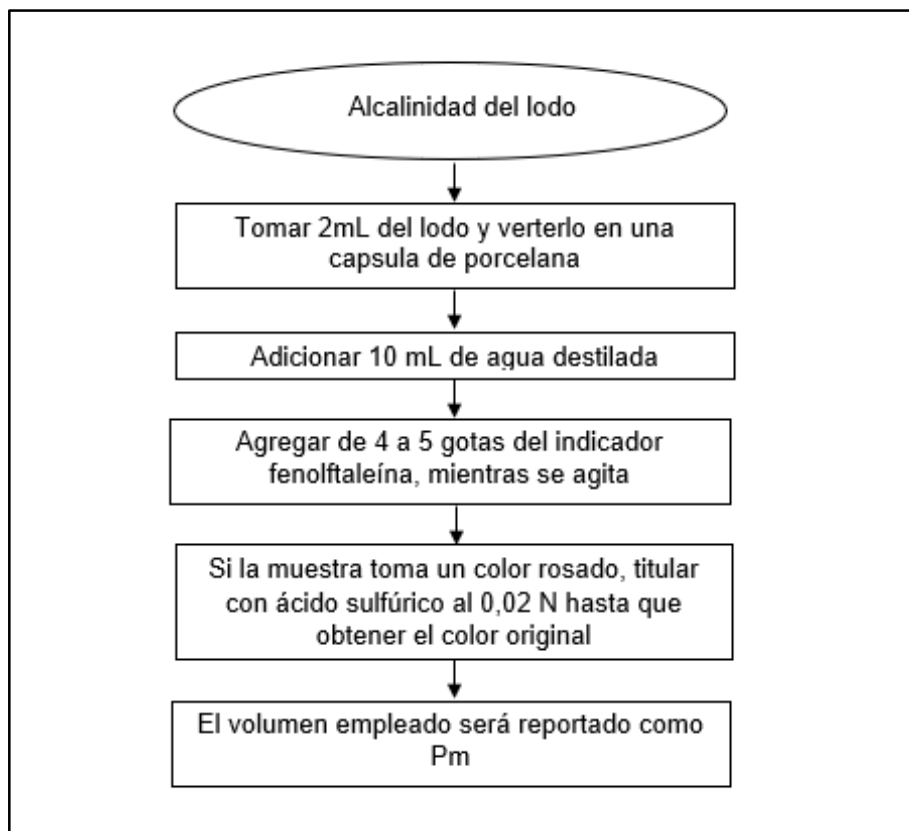
**Nota.** Diagrama de flujo que describe el paso a paso para la medición del contenido de arena de un fluido objeto de estudio.

La alcalinidad del lodo se realiza con la intención de medir la alcalinidad que posee el lodo por medio de un indicador como la fenolftaleína y un titulante como el ácido sulfúrico al 0,02N para reportar su volumen en mL.

En la figura 25 se muestra el diagrama de flujo perteneciente a la medición de la alcalinidad del fluido.

**Figura 25.**

*Diagrama de flujo de la medición de la alcalinidad del lodo*



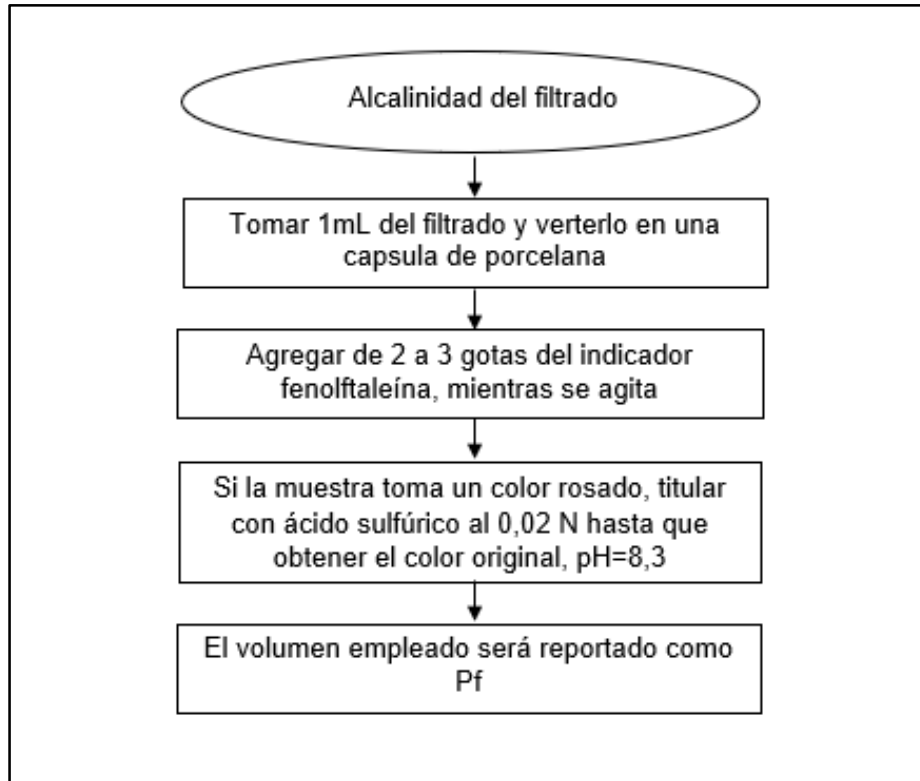
**Nota.** Diagrama de flujo que describe el paso a paso para la medición de la alcalinidad fluido objeto de estudio.

La alcalinidad del filtrado, como se establece en la API 13 B-1 y para medir la alcalinidad que posee el filtrado del lodo obtenido de la filtro-prensa por medio del indicador y un titulante como el ácido sulfúrico al 0,02N para reportar su volumen en mL.

La figura 26 plasma el diagrama de flujo perteneciente a la medición de la alcalinidad del filtrado.

**Figura 26.**

*Diagrama de flujo de la medición de la alcalinidad del filtrado*



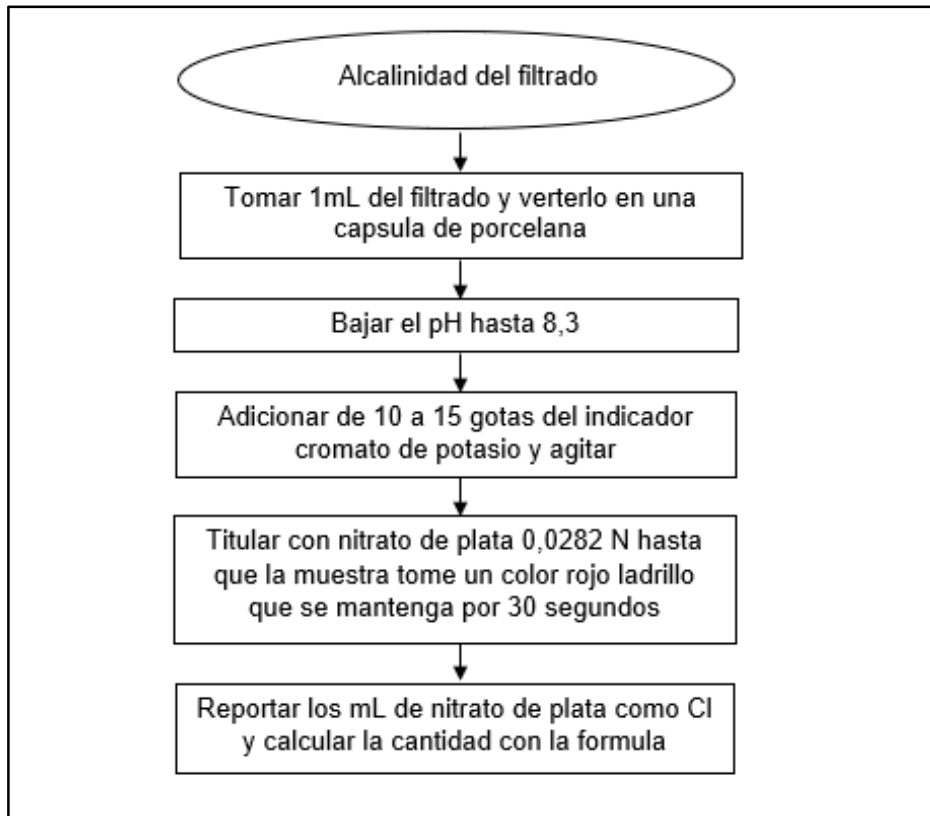
**Nota.** Diagrama de flujo que describe el paso a paso para la medición de la alcalinidad del filtrado del fluido objeto de estudio.

La prueba de contenido de cloruros se hace para medir la cantidad cloruros o sales presentes en el filtrado del fluido perforación para lo cual se debe realizar el mismo procedimiento de la alcalinidad del filtrado (pH=8,3), y posteriormente se utiliza el indicador cromato de potasio para titular con el nitrato de plata al 0,0282.

La figura 27 se encuentra el diagrama de flujo perteneciente a la medición del contenido de cloruros.

**Figura 27.**

*Diagrama de flujo de la medición del contenido de cloruros*



**Nota.** Diagrama de flujo que describe el paso a paso para la medición del contenido de cloruros del filtrado fluido objeto de estudio.

Para el cálculo del contenido de cloruros se emplea la siguiente formula.

$$\text{Contenido de cloruros (ppm) Cl} = \frac{\text{mL de AgNO}_3 \text{ al } 0,0282 \text{ N} \times 1000}{\text{mL de muestra}} \quad (4)$$

La fórmula del contenido de cloruros (4) toma el volumen de nitrato de plata empleado para titular y los multiplica por 1000 y lo divide entre el volumen de muestra empleada.

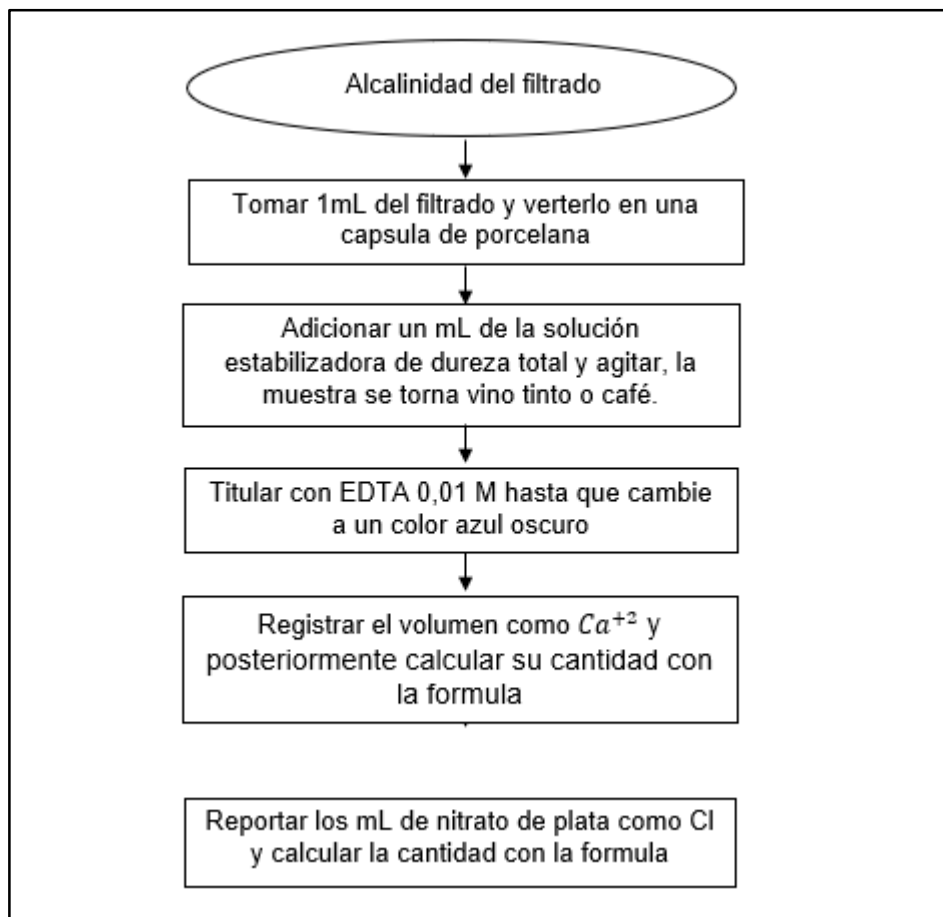
El contenido de calcio o dureza total ( $Ca^{+2}$ ). Esta prueba se hace para calcular la cantidad de calcio presente en el filtrado del fluido de perforación. Como dice la norma

API 13B-1 se emplea un buffer amoniacal como solución estabilizadora de dureza, y como agente titulante se emplea el versenato estándar o EDTA al 0,01 M.

La figura 28 muestra el diagrama de flujo perteneciente a la medición del contenido de calcio o dureza total.

**Figura 28.**

*Diagrama de flujo de la medición de la dureza total*



**Nota.** Diagrama de flujo que describe el paso a paso para la medición de la dureza cálcica del filtrado fluido objeto de estudio.

Para el cálculo de la dureza total se emplea la siguiente formula.

$$\text{Dureza total (ppm) } Ca^{+2} = \frac{\text{mL de EDTA al } 0,01M \times 400}{\text{mL de muestra}} \quad (5)$$

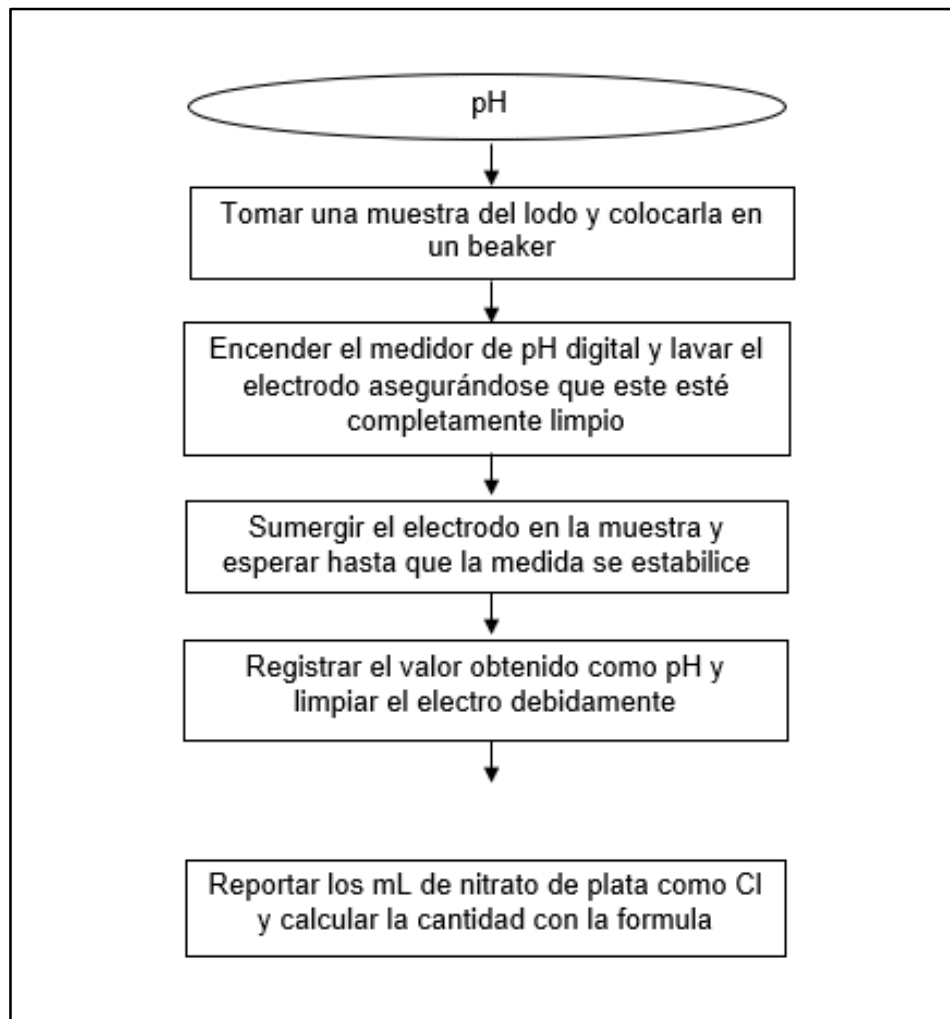
En la fórmula de la dureza total (5) se toma el volumen de EDTA utilizados para titular y los multiplica por 400 y lo divide entre el volumen de muestra empleada.

La medición del pH del lodo se realiza para determinar qué tan ácido o que tan alcalino es un fluido de perforación, se utiliza un medidor de pH digital para hacer esta prueba.

La figura 29 muestra el diagrama de flujo perteneciente a la medición del pH del fluido de perforación.

**Figura 29.**

*Diagrama de flujo de la medición del pH*



**Nota.** Diagrama de flujo que describe el paso a paso para la medición del pH fluido objeto de estudio.

### **2.2.3 Preparación de varios fluidos de inicio usando PAC-LV**

En este apartado del trabajo se procederá a realizar lodos de inicio tomando como base el fluido de referencia preparado previamente en la sección 2.2.1 al cual se le adicionara diferentes concentraciones del aditivo celulosa polianiónica de baja viscosidad en valores que oscilen entre el 0,1 al 5% para posteriormente medir sus propiedades físicas del mismo modo que se hizo con el lodo base, y así posteriormente poder analizar el efecto en las propiedades del aditivo PAC-LV a medida que su concentración aumenta.

### **2.2.4 Realización de las pruebas físicas a los diferentes lodos con PAC-LV**

En esta parte del proceso se comenzará la caracterización de las propiedades del fluido al usar el aditivo convencional objeto de estudio, para lo cual se realizarán las mismas pruebas realizadas al fluido base y siguiendo la misma metodología descrita paso a paso en los diagramas de flujo en la sección 2.2.2, es importante resaltar que estas mediciones también se realizaran siguiendo la norma API 13 B-1 que es la norma recomendada para la práctica en campo de las pruebas de laboratorio a las que son sometidos los fluidos de perforación base agua, esta a su vez hace parte de la ISO 10414.

## **2.3 Diseño de lodos de inicio con el aditivo orgánico biodegradable**

En esta parte del documento se describe la metodología utilizada para el cumplimiento del tercer objetivo para lo cual en primera instancia se prepararán diversos lodos de inicio empleando la misma formulación del fluido de referencia usada en la sección 2.2.1 donde posteriormente se adicionará el aditivo en polvo fabricado a partir de la cáscara de naranja en diferentes concentraciones que estarán entre el 0,1 y el 10%.

### **2.3.1 Realización de las pruebas físicas con el aditivo orgánico biodegradable**

Finalmente se procederá a realizar las pruebas de laboratorio siguiendo la norma API 13 B-1, del mismo modo que se realizó en la sección 2.2.2 donde se describe los procedimientos necesarios para hacer la medición de las propiedades físicas y químicas del fluido para generar un análisis completo de los lodos de inicio formulados.

## **2.4 Establecimiento de la concentración óptima del aditivo orgánico biodegradable**

Esta sección describe la metodología llevada a cabo para el cumplimiento del cuarto objetivo, el cual consiste en establecer la concentración óptima del aditivo orgánico biodegradable mediante la comparación de los resultados obtenidos en laboratorio del lodo de inicio convencional respecto al lodo de inicio con el aditivo objeto de estudio. Dichos resultados, los cálculos realizados a partir de ellos y las propiedades fisicoquímicas de los lodos calculadas junto con su respectivo análisis se encuentran plasmados en la siguiente sección de este documento, es decir el capítulo 3.



### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se registran los resultados con su respectivo análisis de las mediciones realizadas en el laboratorio donde de las pruebas llevadas a cabo se obtuvieron las propiedades fisicoquímicas de los lodos diseñados para el desarrollo de este proyecto cuya formulación se encuentra descrita de forma clara en la metodología del documento en las secciones 2.2.1, 2.2.3 y 2.3.

Por otra parte, es importante resaltar que a partir de las propiedades físicas y químicas obtenidas de los lodos realizados en el laboratorio y su respectivo análisis se obtiene la concentración óptima para los aditivos celulosa polianiónica de baja viscosidad y el polvo de la cáscara de naranja en relación del fluido de perforación base formulado y tomando como referencia el rango de valores que un lodo de inicio base agua maneja.

En la tabla 5 están registrados los valores de las propiedades que un fluido base agua debe tener para ser considerado un lodo de inicio.

**Tabla 5.**

*Propiedades de un lodo de inicio*

<b>Propiedades Típicas</b>	
Densidad (lb/gal)	8,5 – 10
Viscosidad embudo (seg/qt)	36 – 55
Viscosidad plástica (cP)	5 – 9
Punto cedente (lb/100 pies <sup>2</sup> )	12 – 25
Esfuerzo de gel inicial (lb/100 pies <sup>2</sup> )	5 – 10
Esfuerzo de gel a los 10 min. (lb/100 pies <sup>2</sup> )	10 – 20
pH	8,5 - 10,5
Pm (cm <sup>3</sup> 0,002 N H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	0,1 - 1,5
Pf (cm <sup>3</sup> 0,002 N H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	0,1 - 1,0
Dureza total (mg/l)	40 – 240
Cloruros (mg/l)	0 - 5.000
Filtrado (cm <sup>3</sup> /30min)	<= 12

Sólidos de baja gravedad específica (%)	3 – 10
---	--------

**Nota.** Rango típico de valores de las propiedades de un lodo de inicio, tomado de: Manual de fluidos de perforación, Instituto Americano del Petróleo, Dallas, Texas, 2001. pág. 317.

### 3.1 Lodo base

Esta sección del trabajo explica la preparación del fluido de referencia tomando 600 cc de agua (pH= 8,8), 36 g bentonita y 0,6 g de soda cáustica, las mediciones realizadas en laboratorio y los cálculos realizados para determinar las propiedades de este lodo.

En la tabla 6 se observan los resultados obtenidos de las pruebas fisicoquímicas mediante las mediciones realizadas a este fluido de referencia en el laboratorio.

**Tabla 6.**

*Resultados pruebas laboratorio lodo base*

Lodo Base			
Densidad		8,60	
pH		12,44	
Viscosidad de embudo		> 5 min.	
Reología	Baja	300 rpm	20
		100 rpm	5
		3 rpm	2
	Alta	600 rpm	28
		200 rpm	10
		6 rpm	3
	Geles	Inicial	10
		Final	13
Filtrado (mL)		25	
Espesor cake (mm)		5	
Contenido sólidos (mL)		9,30	
Contenido arena (%)		0,5	
Pm (mL)		1,00	
Pf (mL)		0,90	
Ca (mL)		0,10	
Cl (mL)		0,20	

**Nota.** Pruebas de laboratorio realizadas al fluido de referencia.

A partir de los resultados de las mediciones obtenidas durante las prácticas realizadas en el laboratorio se procede a calcular las siguientes propiedades:

En los cálculos de las propiedades se encuentran la viscosidad plástica (PV), el punto cedente (YP), la viscosidad aparente (VA) y el contenido de sólidos. Por otra parte, están los cálculos que se hacen para la obtención de las propiedades químicas como la alcalinidad del filtrado (Pm), alcalinidad del filtrado (Pf), la dureza total ( $Ca^{+2}$ ) y el contenido de cloruros (Cl). Adicionalmente, tenemos algunas conversiones de unidades para la verificación de los valores obtenidos respecto a los de un fluido de inicio base agua.

Las conversiones de unidades son para Pm, Pf, y espesor del revoque, las primeras dos se convierten a centímetros cúbicos y la tercera a pulgadas respectivamente para poder compararlas de manera pertinente.

$$Pm = 1,0 \text{ mL} = 1,0 \text{ cc}$$

$$Pf = 0,75 \text{ mL} = 0,75 \text{ cc}$$

$$\text{Espesor del revoque} = 2\text{mm} = 0,19685 \text{ pulgadas}$$

A continuación, las propiedades físicas calculadas en el lodo base, utilizando las ecuaciones (1) (2) y (3) enunciadas y explicadas en la sección 2.2.2.

$$PV = R600 - R300 = 28 - 20 = 8 \text{ cP}$$

$$YP = R300 - PV = 20 - 28 = 12 \text{ Lb/ft}^2$$

$$VA = \frac{R600}{2} = \frac{28}{2} = 14 \text{ cP}$$

Se calcula el contenido de sólidos con la siguiente fórmula:

$$\text{Contenido de sólidos (\%)} = 10 - \text{Volumen reportado (ml)} * 10 \text{ (4)}$$

El resultado de la ecuación da un valor porcentual.

$$\text{Contenido de sólidos} = 10 - 9.3 * 10 = 7\%$$

En seguida se aprecia las propiedades químicas calculadas utilizando la ecuación (5) y (6)

Fórmula para el cálculo de la dureza total es la siguiente:

$$Ca^{+2}(\text{ppm}) = \frac{\text{mL de EDTA } 0,01 \text{ N} \times 400}{\text{mL de muestra}} \quad (5)$$

El resultado también es equivalente en mg/L.

Finalmente para el cálculo de cloruros se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{Cl (ppm)} = \frac{\text{mL de AgNO}_3 \text{ } 0,0282\text{N} \times 1000}{\text{mL de muestra}} \quad (6)$$

El resultado también es equivalente en mg/L.

Tomando los valores obtenidos se obtiene:

$$Ca^{+2}(\text{ppm}) = \frac{0.10\text{mL} * 400}{1\text{mL}} = 40\text{ppm}$$

$$\text{Cl (ppm)} = \frac{0.20\text{mL} * 1000}{1 \text{ mL}} = 200\text{ppm}$$

En la tabla 7 se tienen los valores de las propiedades físicas y químicas finales del fluido de referencia que fueron calculadas a partir de las mediciones hechas en el laboratorio junto con el rango de valores que maneja un lodo de inicio base agua y una casilla donde se clasifica si cumplen o no con estos criterios.

**Tabla 7.***Propiedades lodo base*

Lodo Base		Rango aceptable	cumple?
Peso del lodo (ppg)	8,60	8,5-10	si
pH	12,44	8,5-10,5	no
Filtrado (cc)	25	<=12	no
Espesor revoque (pulg)	0,19685	no aplica	no aplica
Contenidos de Sólidos (%)	7,0	3-10	si
Contenido de arena (%)	0,5	no aplica	no aplica
PV (cP)	8	5-9	si
YP ( $Lb/100ft^2$ )	12	12-25	si
VA (cP)	14	no aplica	no aplica
Gel Inicial ( $Lb/100ft^2$ )	10	5-10	si
Gel Final ( $Lb/100ft^2$ )	13	10-20	si
Viscosidad de embudo (seg/qt)	> 300	36-55	no
Pm (cc)	1	0,1-1,5	si
Pf (cc)	0,9	0,1-1	si
( $Ca^{+2}$ )(ppm)	40	40-240	si
Cl (ppm)	200	0-5000	si

**Nota.** Propiedades fisicoquímicas del fluido de referencia.

Como se puede apreciar en las propiedades del fluido base con respecto a los rangos valores de un lodo de inicio, existen propiedades que cumplen dichos criterios y siguen los parámetros normales como los esfuerzos de gel inicial y final, la viscosidad plástica, el punto cedente, el peso del lodo, la alcalinidad del lodo y del filtrado, la dureza total, el porcentaje de sólidos y los cloruros. No obstante, también hay propiedades que operan fuera de rango en las cuales se incluyen el pH, el filtrado y la viscosidad de embudo. Finalmente, el filtrado obtenido es bastante abundante debido a la mala calidad del revoque formado que se caracteriza por ser muy grueso y de consistencia blanda lo que permite que el sello que se desea formar no sea bueno y permita el paso de la fase continua del fluido en grandes proporciones.

### 3.2 Lodo con el aditivo PAC-LV

En esta sección se encuentran los resultados de las pruebas físicas y químicas realizados a los diferentes fluidos preparados a partir del lodo base con diferentes

concentraciones del aditivo PAC-LV y los cálculos realizados para la determinación de las propiedades físicas de estos.

### 3.2.1 Lodo con PAC-LV al 0,5%

El lodo se diseña a partir del fluido de referencia y adicionando 3g de PAC-LV que equivalen a 0,5 % concentración m/v para medir sus propiedades en el laboratorio.

La tabla 8 muestra resultados de las pruebas fisicoquímicas obtenidos en las mediciones realizadas en el laboratorio a este fluido de perforación.

**Tabla 8.**

*Resultados pruebas laboratorio lodo con PAC-LV al 0,5%*

PAC LV 0,5%			
Densidad		8,60	
pH		12,40	
Viscosidad de embudo		> 5 min.	
Reología	Baja	300 rpm	25
		100 rpm	13
		3 rpm	5
	Alta	600 rpm	35
		200 rpm	19
		6 rpm	6
	Geles	Inicial	12
		Final	22
	Filtrado (mL)		14
Espesor cake (mm)		3	
Contenido sólidos (mL)		9,25	
Contenido arena (%)		0,5	
Alcalinidad del lodo (mL)		0,95	
Alcalinidad del filtrado (mL)		0,70	
Calcio (mL)		0,05	
Cloruros (mL)		0,30	

**Nota.** Pruebas físicas y químicas del fluido con concentración de PAC-LV al 0,5%.

El cálculo de las propiedades físicas se realiza usando las mismas formulas y procedimientos llevados a cabo en la sección 3.1 a partir de las mediciones hechas en el laboratorio de fluidos de perforación.

La tabla 9 plasma las propiedades físicas del fluido de inicio haciendo uso de 3 g del aditivo PAC-LV.

**Tabla 9.**

*Propiedades lodo con PAC-LV al 0,5%*

Lodo PAC-LV 0,5%		Rango aceptable	cumple?
Peso del lodo (ppg)	8,60	8,5-10	si
pH	12,40	8,5-10,5	no
Filtrado (cc)	14	<=12	no
Espesor revoque (pulg)	0,11811	no aplica	no aplica
Contenidos de sólidos (%)	7,5	3-10	si
Contenido de arena (%)	0,5	no aplica	no aplica
Viscosidad plástica (cP)	10	5-9	no
Punto cedente ( $Lb/100ft^2$ )	15	12-25	si
Viscosidad aparente (cP)	18	no aplica	no aplica
Gel Inicial ( $Lb/100ft^2$ )	12	5-10	no
Gel Final ( $Lb/100ft^2$ )	22	10-20	no
Viscosidad de embudo (seg/qt)	> 300	36-55	no
Pm (cc)	0,95	0,1-1,5	si
Pf (cc)	0,70	0,1-1	si
$(Ca^{+2})$ (ppm)	20	40-240	no
Cl (ppm)	300	0-5000	si

**Nota.** Propiedades del fluido con 3 g de PAC-LV.

A partir de las propiedades obtenidas de este lodo se observa que el peso del lodo, punto cedente, contenido de sólidos, cloruros, alcalinidad del lodo y del filtrado cumplen con los parámetros. Por otra parte, propiedades como el pH, los esfuerzos de gel inicial y final, la viscosidad de embudo, viscosidad plástica y la dureza total no entran entre los parámetros de un lodo de inicio. Adicionalmente, el filtrado mejoro considerablemente disminuyendo en 11 mL y presento un revoque mucho más fino y un poco más consistente en relación con el lodo base. Finalmente, se puede apreciar que el uso aditivo celulosa polianiónica de baja viscosidad genera una disminución bastante representativa

en el filtrado del lodo, pero a su vez ejerce un impacto negativo en el perfil reológico haciendo que los esfuerzos de gel, la viscosidad plástica y aparente aumenten.

### 3.2.2 Lodo PAC-LV al 1%

En esta ocasión la cantidad de PAC-LV empleada para la formulación del lodo a partir del fluido base fue de 6 g cuya concentración m/v es del 1% para la medición de sus propiedades en el laboratorio.

La tabla 10 contiene los valores obtenidos de los ensayos realizados a este fluido de inicio.

**Tabla 10.**

*Resultados pruebas de laboratorio lodo con PAC-LV al 1%*

PAC LV 1%			
Densidad		8,60	
pH		12,34	
Viscosidad de embudo		> 5 min.	
Reología	Baja	300 rpm	48
		100 rpm	27
		3 rpm	12
	Alta	600 rpm	68
		200 rpm	38
		6 rpm	13
	Geles	Inicial	19
		Final	40
	Filtrado (mL)		9
Espesor cake (mm)		3	
Contenido sólidos (mL)		9,20	
Contenido arena (%)		0,5	
Alcalinidad del lodo (mL)		0,90	
Alcalinidad del filtrado (mL)		0,65	
Calcio (mL)		0,05	
Cloruros (mL)		0,35	

**Nota.** Pruebas de laboratorio fluido con PAC-LV concentración al 1%.

El respectivo cálculo de las propiedades físicas y químicas de este lodo se hace usando las fórmulas y procedimientos previamente explicados en la sección 3.1.



La tabla 11 contiene las magnitudes de las propiedades del lodo de inicio convencional con una concentración del 1% m/v de PAC-LV.

**Tabla 11.**

*Propiedades lodo con PAC-LV al 1 %*

Lodo PAC-LV 1%		Rango aceptable	cumple?
Peso del lodo (ppg)	8,60	8,5-10	si
pH	12,34	8,5-10,5	no
Filtrado (cc)	9	<=12	si
Espesor revoque (pulg)	0,11811	no aplica	no aplica
Contenidos de sólidos (%)	8,0	3-10	si
Contenido de arena (%)	0,5	no aplica	no aplica
Viscosidad plástica (cP)	20	5-9	no
Punto cedente ( $Lb/100ft^2$ )	28	12-25	no
Viscosidad aparente (cP)	34	no aplica	no aplica
Gel Inicial ( $Lb/100ft^2$ )	19	5-10	no
Gel Final ( $Lb/100ft^2$ )	40	10-20	no
Viscosidad de embudo (seg/qt)	> 300	36-55	no
Pm (cc)	0,90	0,1-1,5	si
Pf (cc)	0,65	0,1-1	si
( $Ca^{+2}$ )(ppm)	20	40-240	no
Cl (ppm)	350	0-5000	si

**Nota.** Propiedades fisicoquímicas del fluido con 6 g de PAC-LV.

Revisando las propiedades obtenidas del lodo se aprecia que estos valores se cumplen en el peso del lodo, contenido de sólidos, contenido de cloruros y la alcalinidad del lodo y del filtrado. No obstante, propiedades como pH, viscosidad plástica, punto cedente, esfuerzos de gel inicial y final, viscosidad de embudo y dureza total o dureza cálcica no cumplen los criterios establecidos. El filtrado siguió mejorando y disminuyó 16 mL presentando un revoque más fino y de mejor textura que el del lodo de referencia. Para terminar, tal y como se evidenció en la sección anterior el aditivo PAC-LV es muy buen agente controlador de filtrado, pero en este caso afecta negativamente las propiedades reológicas del fluido causando un aumento en los geles inicial y final, la viscosidad plástica y punto cedente.

### 3.2.3 Lodo PAC-LV al 1,5%

En la formulación de este fluido la cantidad de PAC-LV empleada es de 9 g cuya concentración m/v es del 1,5 % que se adicionan al fluido base para la medición de sus propiedades mediante pruebas en el laboratorio.

La tabla 12 se plasma el resultado de las mediciones realizadas en el laboratorio a este lodo de perforación.

**Tabla 12.**

*Resultados pruebas laboratorio lodo con PAC-LV al 1,5 %*

PAC LV 1,5 %			
Densidad		8,60	
pH		12,28	
Viscosidad de embudo		> 5 min.	
Reología	Baja	300 rpm	110
		100 rpm	69
		3 rpm	28
	Alta	600 rpm	150
		200 rpm	93
		6 rpm	31
	Geles	Inicial	35
		Final	67
Filtrado (mL)		5	
Espesor cake (mm)		2,5	
Contenido sólidos (mL)		9,15	
Contenido arena (%)		0,5	
Alcalinidad del lodo (mL)		0,85	
Alcalinidad del filtrado (mL)		0,60	
Calcio (mL)		0,05	
Cloruros (mL)		0,35	

**Nota.** Propiedades del fluido con concentración de PAC-LV al 1,5 %.

La determinación de las propiedades físicas y químicas de este fluido se realiza haciendo uso las fórmulas y siguiendo la dinámica empleada en la sección 3.1.

La tabla 13 se encuentra registradas las propiedades físicas y químicas del fluido de inicio convencional que contiene 9 gramos de celulosa polianiónica de baja viscosidad.

**Tabla 13.***Propiedades lodo con PAC-LV al 1,5 %*

Lodo PAC-LV 1,5 %		Rango aceptable	cumple?
Peso del lodo (ppg)	8,60	8,5-10	si
pH	12,28	8,5-10,5	no
Filtrado (cc)	5	<=12	si
Espesor revoque (pulg)	0,098425	no aplica	no aplica
Contenidos de sólidos (%)	8,5	3-10	si
Contenido de arena (%)	0,5	no aplica	no aplica
Viscosidad plástica (cP)	40	5-9	no
Punto cedente ( $Lb/100ft^2$ )	70	12-25	no
Viscosidad aparente (cP)	75	no aplica	no aplica
Gel Inicial ( $Lb/100ft^2$ )	35	5-10	no
Gel Final ( $Lb/100ft^2$ )	67	10-20	no
Viscosidad de embudo (seg/qt)	> 300	36-55	no
Pm (cc)	0,85	0,1-1,5	si
Pf (cc)	0,60	0,1-1	si
( $Ca^{+2}$ )(ppm)	20	40-240	no
Cl (ppm)	350	0-5000	si

**Nota.** Propiedades del fluido con 9 g de PAC-LV.

Al realizar la respectiva comparación entre las propiedades del fluido, se puede evidenciar la misma tendencia que se venía apreciando en la sección anterior la cual es que las propiedades como peso del lodo, contenido de sólidos, el contenido de cloruros y la alcalinidad del lodo y el filtrado, son las únicas que entran dentro de esos rangos de valores, mientras que los geles inicial y final, la viscosidad plástica, el punto cedente, la viscosidad de embudo, pH y la dureza total se salen de los valores de un fluido no densificado. Por otra parte, también sigue marcándose la tendencia de conseguir un mejor control de filtrado disminuyendo esta propiedad en 20 mL junto con la conformación de un mejor revoque tomando como base las propiedades del lodo base. Adicionalmente, se sigue ratificando que este aditivo es un muy buen controlador de filtrado, pero a la vez perjudica de gran manera la reología del lodo lo cual es bastante notorio al ver como dispara los geles, la viscosidad plástica y el punto cedente.

### 3.2.4 Lodo PAC-LV al 2 %

En la preparación de este fluido la cantidad de PAC-LV empleada para la formulación es de 12 gramos de este aditivo son agregados al lodo de referencia para la realización de los ensayos de laboratorio pertinentes para la determinación de sus propiedades.

La tabla 14 reporta los datos obtenidos en las pruebas de laboratorio del fluido con 12 gramos de celulosa polianiónica de baja viscosidad.

**Tabla 14.**

*Resultados pruebas laboratorio lodo con PAC-LV al 2 %*

PAC LV 2 %			
Densidad		8,55	
pH		12,20	
Viscosidad de embudo		> 5 min.	
Reología	Baja	300 rpm	218
		100 rpm	105
		3 rpm	35
	Alta	600 rpm	298
		200 rpm	148
		6 rpm	39
	Geles	Inicial	58
		Final	110
	Filtrado (mL)		4
Espesor cake (mm)		2,5	
Contenido sólidos (mL)		9,10	
Contenido arena (%)		0,5	
Alcalinidad del lodo (mL)		0,80	
Alcalinidad del filtrado (mL)		0,55	
Calcio (mL)		0,05	
Cloruros (mL)		0,35	

**Nota.** Datos obtenidos en laboratorio del lodo con PAC-LV al 2%.

Las propiedades se hallaron con los mismos procedimientos que en la sección 3.1.

En la tabla 15 están anotados los datos obtenidos mediante las mediciones realizadas en las prácticas de laboratorio.

**Tabla 15.***Propiedades lodo con PAC-LV al 2 %*

Lodo PAC-LV 2 %		Rango aceptable	cumple?
Peso del lodo (ppg)	8,55	8,5-10	si
pH	12,20	8,5-10,5	no
Filtrado (cc)	4	<=12	si
Espesor revoque (pulg)	0,098425	no aplica	no aplica
Contenidos de sólidos (%)	9,0	3-10	si
Contenido de arena (%)	0,5	no aplica	no aplica
Viscosidad plástica (cP)	80	5-9	no
Punto cedente ( $Lb/100ft^2$ )	138	12-25	no
Viscosidad aparente (cP)	149	no aplica	no aplica
Gel Inicial ( $Lb/100ft^2$ )	58	5-10	no
Gel Final ( $Lb/100ft^2$ )	110	10-20	no
Viscosidad de embudo (seg/qt)	> 300	36-55	no
Pm (cc)	0,80	0,1-1,5	si
Pf (cc)	0,55	0,1-1	si
$(Ca^{+2})$ (ppm)	20	40-240	no
Cl (ppm)	350	0-5000	si

**Nota.** Propiedades lodo con 12 g de celulosa polianiónica de baja viscosidad.

En esta parte del trabajo también es posible apreciar lo que se venía evidenciando en las secciones anteriores de este aditivo, el peso del lodo, el contenido de sólidos, contenido de cloruros, la alcalinidad del lodo y el filtrado poseen los valores manejados en un fluido no densificado. Por su parte el pH, la viscosidad plástica, el punto cedente, los esfuerzos de gel inicial y final, la viscosidad de embudo y la dureza total cuyos valores salen de los rangos y no obedecen a las características del fluido en el que se enfoca este trabajo. Por otro lado, la efectividad para controlar el filtrado del aditivo va disminuyendo a medida que la concentración aumenta debido a que solo disminuye solo 1 mL respecto a la empleada anteriormente en la sección 3.2.3. Finalmente, se observa que a una gran concentración del aditivo se disparan las propiedades reológicas de manera representativa tomando valores bastante lejanos a los manejados en un fluido base agua no densificado.

### 3.2.5 Lodo PAC-LV al 2,5 %

El fluido que se formula para ser analizado en el laboratorio se hace a partir del fluido base y adicionando 15 gramos de la PAC-LV cuya concentración m/v es 2,5 %.

En la tabla 16 se plasman los resultados de los ensayos llevados a cabo en el laboratorio para el lodo con celulosa polianiónica de baja viscosidad al 2,5 %.

**Tabla 16.**  
*Resultados pruebas laboratorio lodo con PAC-LV al 2,5 %*

PAC LV 2,5 %			
Densidad		8,50	
pH		12,12	
Viscosidad de embudo		> 5 min.	
Reología	Baja	300 rpm	290
		100 rpm	200
		3 rpm	40
	Alta	600 rpm	>300
		200 rpm	257
		6 rpm	45
	Geles	Inicial	85
		Final	179
Filtrado (mL)		3,8	
Espesor cake (mm)		2,5	
Contenido sólidos (mL)		9,05	
Contenido arena (%)		0,50%	
Alcalinidad del lodo (mL)		0,75	
Alcalinidad del filtrado (mL)		0,50	
Calcio (mL)		0,05	
Cloruros (mL)		0,35	

**Nota.** Datos obtenidos en laboratorio del lodo con 15 gramos de PAC-LV.

Las propiedades calculadas siguen la misma dinámica que en la sección 3.1 empleando la misma dinámica.

En la tabla 17 se registran los valores de las propiedades físicas y químicas del fluido con 15 gramos de PAC-LV.

**Tabla 17.***Propiedades lodo con PAC-LV al 2,5 %*

Lodo PAC-LV 2,5 %		Rango aceptable	cumple?
Peso del lodo (ppg)	8,50	8,5-10	si
pH	12,12	8,5-10,5	no
Filtrado (cc)	3,8	<=12	si
Espesor revoque (pulg)	0,098425	no aplica	no aplica
Contenidos de sólidos (%)	9,5	3-10	si
Contenido de arena (%)	0,5	no aplica	no aplica
Viscosidad plástica (cP)	x	5-9	no aplica
Punto cedente ( $Lb/100ft^2$ )	x	12-25	no aplica
Viscosidad aparente (cP)	x	no aplica	no aplica
Gel Inicial ( $Lb/100ft^2$ )	85	5-10	no
Gel Final ( $Lb/100ft^2$ )	179	10-20	no
Viscosidad de embudo (seg/qt)	> 300	36-55	no
Pm (cc)	0,75	0,1-1,5	si
Pf (cc)	0,50	0,1-1	si
( $Ca^{+2}$ )(ppm)	20	40-240	no
Cl (ppm)	350	0-5000	si

**Nota.** Propiedades del lodo con celulosa polianiónica de baja viscosidad 2,5%.

En este segmento del trabajo al comparar las propiedades medidas en el fluido diseñado se aprecia que propiedades como peso del lodo, contenido de sólidos, contenido de cloruros, la alcalinidad del lodo y filtrado son las únicas que cumplen con los parámetros de operabilidad, mientras que pH, los esfuerzos de gel inicial y final, viscosidad de embudo y la dureza total están por fuera de ese margen. Por otro lado, la viscosidad plástica, punto cedente y viscosidad aparente no pudieron ser calculadas como se aprecia en la tabla 17 ya que el reómetro empleado en las practicas no registraba medidas mayores a 300 y la medida de 600 rpm que es indispensable para el cálculo de estas propiedades es mayor a esta magnitud.

### 3.3 Lodo con el aditivo de naranja

En parte del documento se encuentran los resultados de las pruebas fisicoquímicas hechas a los diferentes fluidos formulados a partir del fluido de referencia con diversas concentraciones del aditivo en polvo de las cascara de naranja y los cálculos hechos para la determinación de las propiedades de estos.

### 3.3.1 Lodo con cascara de naranja al 0,5%

Este fluido es formulado tomando el lodo de referencia adicionando 3 gramos del aditivo de naranja que en concentración m/v es 0,5% para la realización de las pruebas.

En la tabla 18 están registrados los resultados de los ensayos hechos en el laboratorio del fluido evaluado.

**Tabla 18.**  
*Resultados pruebas laboratorio lodo con cascara de naranja al 0,5 %*

Naranja 0,5%			
Densidad		8,60	
pH		11,94	
Viscosidad de embudo		39,60	
Reología	Baja	300 rpm	10
		100 rpm	5
		3 rpm	2
	Alta	600 rpm	14
		200 rpm	8
		6 rpm	3
	Geles	Inicial	4
		Final	11
	Filtrado (mL)		16
Espesor cake (mm)		2,5	
Contenido sólidos (mL)		8,90	
Contenido arena (%)		4,50	
Alcalinidad del lodo (mL)		0,35	
Alcalinidad del filtrado (mL)		0,30	
Calcio (mL)		0,025	
Cloruros (mL)		0,25	

**Nota.** Datos de laboratorio del lodo con 3 gramos de la cascara de naranja.

Las propiedades fisicoquímicas del lodo se realizan de la misma manera que en segmento 3.1.

En la tabla 19 se plasman los valores de las propiedades obtenidas en el fluido estudiado.



**Tabla 19.***Propiedades lodo con cáscara de naranja al 0,5 %*

Naranja 0,5%		Rango aceptable	cumple?
Peso del lodo (ppg)	8,60	8,5-10	si
pH	11,94	8,5-10,5	no
Filtrado (cc)	16	<=12	no
Espesor revoque (pulg)	0,098425	no aplica	no aplica
Contenidos de sólidos (%)	11,0	3-10	no
Contenido de arena (%)	4,50	no aplica	no aplica
Viscosidad plástica (cP)	4	5-9	no
Punto cedente ( $Lb/100ft^2$ )	6	12-25	no
Viscosidad aparente (cP)	7	no aplica	no aplica
Gel Inicial ( $Lb/100ft^2$ )	4	5-10	no
Gel Final ( $Lb/100ft^2$ )	11	10-20	si
Viscosidad de embudo (seg/qt)	39,60	36-55	si
Pm (cc)	0,35	0,1-1,5	si
Pf (cc)	0,30	0,1-1	si
( $Ca^{+2}$ )(ppm)	10	40-240	no
Cl (ppm)	250	0-5000	si

**Nota.** Propiedades del lodo con cascara de naranja al 0,5 %.

Al comparar las propiedades obtenidas del fluido respecto a los valores típicos de un lodo de inicio se puede observar que el peso del lodo, la viscosidad de embudo la viscosidad plástica, el contenido de cloruros y la alcalinidad del lodo y del filtrado cumplen con los criterios y valores establecidos, mientras que el pH, contenido de sólidos, los esfuerzos de gel inicial y final, el punto cedente y dureza total están fuera del rango. Por otra parte, el filtrado disminuyo 9 mL en relación con el fluido base, también es importante resaltar la obtención de un revoque más fino, firme y mejor consolidado respecto al formado con el fluido base y con el aditivo PAC-LV. Finalmente, se puede decir que el aditivo hecho a partir de las cáscaras de naranja es buen controlador filtrador, ayuda a reducir pH y a su vez actúa como diluyente debido a disminuye el valor de propiedades reológicas como la viscosidad plástica, la viscosidad aparente, la viscosidad embudo y esfuerzos de gel inicial y final, generando que el fluido obtenga menos filtrado a la vez que su perfil reológico toma valores cercanos a los de un lodo de inicio.

### 3.3.2 Lodo con cascara de naranja al 1%

La preparación del fluido es hecha a partir del fluido de referencia agregando 6 gramos del aditivo, concentración m/v del 1% para la medición de sus propiedades.

En la tabla 20 se plasman los resultados conseguidos en los ensayos realizados cuando se usa 6 gramos del polvo de cáscara de naranja.

**Tabla 20.**

*Resultados pruebas laboratorio lodo con cascara de naranja al 1 %*

Naranja 1%			
Densidad		8,60	
pH		11,53	
Viscosidad de embudo		40,22	
Reología	Baja	300 rpm	11
		100 rpm	5
		3 rpm	2
	Alta	600 rpm	15
		200 rpm	8
		6 rpm	3
	Geles	Inicial	4
		Final	9
	Filtrado (mL)		14
Espesor cake (mm)		2,5	
Contenido sólidos (mL)		8,45	
Contenido arena (%)		10,00	
Alcalinidad del lodo (mL)		0,30	
Alcalinidad del filtrado (mL)		0,25	
Calcio (mL)		0,025	
Cloruros (mL)		0,25	

**Nota.** Datos de laboratorio del lodo con 6 gramos de la cascara de naranja.

Los procedimientos realizados para conseguir las propiedades físicas y químicas del fluido siguen la misma metodología de la sección 3.1.

En la tabla 21 se registran las propiedades del fluido con el aditivo de la cascara de la naranja al 1% m/v.

**Tabla 21.***Propiedades lodo con cáscara de naranja al 1 %*

Naranja 1%		Rango aceptable	cumple?
Peso del lodo (ppg)	8,60	8,5-10	si
pH	11,53	8,5-10,5	no
Filtrado (cc)	14	<=12	no
Espesor revoque (pulg)	0,098425	no aplica	no aplica
Contenidos de sólidos (%)	15,50	3-10	no
Contenido de arena (%)	10	no aplica	no aplica
Viscosidad plástica (cP)	4	5-9	no
Punto cedente ( $Lb/100ft^2$ )	7	12-25	no
Viscosidad aparente (cP)	7,5	no aplica	no aplica
Gel Inicial ( $Lb/100ft^2$ )	4	5-10	no
Gel Final ( $Lb/100ft^2$ )	9	10-20	no
Viscosidad de embudo (seg/qt)	40,22	36-55	si
Pm (cc)	0,30	0,1-1,5	si
Pf (cc)	0,25	0,1-1	si
( $Ca^{+2}$ )(ppm)	10	40-240	no
Cl (ppm)	350	0-5000	si

**Nota.** Propiedades del lodo con cascara de naranja al 1 %.

Partiendo de las propiedades del fluido obtenidas y haciendo su respectivo análisis respecto a los rangos de un lodo de inicio se evidencia la misma tendencia de la sección anterior en donde propiedades como el peso del lodo, viscosidad de embudo, la alcalinidad del lodo y del filtrado, y el contenido de cloruros cumplen con las especificaciones, en cuanto al pH, contenido de sólidos, viscosidad plástica, esfuerzos de gel inicial y final, punto cedente, y dureza total no alcanzan a cumplir estos. Por otro lado, Se aprecia que el aditivo es bueno mejorando el filtrado logrando una reducción de 11 mL respecto al fluido base y genero un revoque fino y con buena consistencia, cabe resaltar que sigue trabajando como un reductor de pH y diluyente aunque por su composición fibrosa hay un ligero aumento en propiedades como el punto cedente, la viscosidad de embudo y la viscosidad aparente, mientras que los geles y viscosidad plástica presentaron el mismo comportamiento en relación al lodo anterior cuya concentración es de 0,5% m/v, esto es debido a la mayor presencia de solidos generada por la cáscara de naranja, pero la viscosidad plástica y geles si mantienen su comportamiento.

### 3.3.3 Lodo con cascara de naranja al 1,5 %

El diseño de este lodo es tomando el lodo base y suministrando 9 gramos del aditivo, concentración m/v del 1,5% para la realización pertinente de los ensayos de laboratorio.

En la tabla 22 se contiene los datos conseguidos en las prácticas hechas cuando se usa 9 gramos del aditivo a estudiar.

**Tabla 22.**

*Resultados pruebas laboratorio lodo con cascara de naranja al 1,5 %*

Naranja 1,5%			
Densidad		8,60	
pH		11,17	
Viscosidad de embudo		42,79	
Reología	Baja	300 rpm	13
		100 rpm	6
		3 rpm	2
	Alta	600 rpm	17
		200 rpm	10
		6 rpm	3
	Geles	Inicial	4
		Final	9
	Filtrado (mL)		12
Espesor cake (mm)		2	
Contenido sólidos (mL)		8,05	
Contenido arena (%)		12,00	
Alcalinidad del lodo (mL)		0,25	
Alcalinidad del filtrado (mL)		0,20	
Calcio (mL)		0,025	
Cloruros (mL)		0,35	

**Nota.** Datos de laboratorio del lodo con 9 gramos de la cascara de naranja

Se obtienen las propiedades físicas del fluido del mismo modo en el que está explicado en la sección 3.1.

En la tabla 23 plasman las propiedades del lodo formulado con el aditivo de la cascara de la naranja al 1,5 % m/v.

**Tabla 23.***Propiedades lodo con cáscara de naranja al 1,5 %*

Naranja 1,5%		Rango aceptable	cumple?
Peso del lodo (ppg)	8,60	8,5-10	si
pH	11,17	8,5-10,5	no
Filtrado (cc)	12	<=12	si
Espesor revoque (pulg)	0,07874	no aplica	no aplica
Contenidos de sólidos (%)	19,50	3-10	no
Contenido de arena (%)	12,00	no aplica	no aplica
Viscosidad plástica (cP)	4	5-9	no
Punto cedente ( $Lb/100ft^2$ )	9	12-25	no
Viscosidad aparente (cP)	8,5	no aplica	no aplica
Gel Inicial ( $Lb/100ft^2$ )	4	5-10	no
Gel Final ( $Lb/100ft^2$ )	9	10-20	no
Viscosidad de embudo (seg/qt)	42,79	36-55	si
Pm (cc)	0,25	0,1-1,5	si
Pf (cc)	0,20	0,1-1	si
( $Ca^{+2}$ )(ppm)	10	40-240	no
Cl (ppm)	350	0-5000	si

**Nota.** Propiedades del lodo con cascara de naranja al 1,5 %.

El análisis de los resultados obtenidos del fluido estudiado es claro que el peso del lodo, viscosidad de embudo, contenido de cloruros, alcalinidad del lodo y del filtrado siguen los parámetros de operabilidad, en cuanto el pH, el punto cedente, los esfuerzos de gel inicial y final, total, viscosidad plástica y el porcentaje de sólidos de baja gravedad específica presentan valores fuera de dichos parámetros. Por otra parte, se siguen obteniendo resultados positivos en el uso del aditivo como agente para el control de filtrado logrando una reducción de 13 mL y un revoque fino y consistente con relación a los del lodo base. Finalmente, funciona como un dispersante que por ser un material fibroso al ir aumentando la concentración de este en el fluido empieza a generar un incremento en propiedades como el punto cedente, viscosidad plástica y viscosidad de embudo. El revoque obtenido es más fino que el de la anterior concentración (sección 3.3.4).

### 3.3.4 Lodo con cascara de naranja al 2 %

La preparación del fluido se hace a partir del lodo base y adicionando 12 gramos del polvo de cáscara de naranja, concentración m/v del 2% para la medición de sus propiedades fisicoquímicas.

En la tabla 24 están registrados los resultados obtenidos en las pruebas llevadas a cabo con el uso de 12 gramos del aditivo.

**Tabla 24.**

*Resultados pruebas laboratorio lodo con cascara de naranja al 2 %*

Naranja 2%			
Densidad		8,60	
pH		10,93	
Viscosidad de embudo		45,58	
Reología	Baja	300 rpm	15
		100 rpm	7
		3 rpm	2
	Alta	600 rpm	19
		200 rpm	11
		6 rpm	3
	Geles	Inicial	4
		Final	9
	Filtrado (mL)		11
Espesor cake (mm)		2	
Contenido sólidos (mL)		7,95	
Contenido arena (%)		14,00	
Alcalinidad del lodo (mL)		0,20	
Alcalinidad del filtrado (mL)		0,15	
Calcio (mL)		0,025	
Cloruros (mL)		0,35	

**Nota.** Datos de laboratorio del lodo con 12 gramos de la cascara de naranja.

Las magnitudes de las propiedades finales del fluido estudiado se realizan con las fórmulas de la sección 3.1 y siguiendo los mismos procedimientos.

La tabla 25 plasma las propiedades fisicoquímicas del lodo con una concentración del 2% m/v del polvo de cáscara de naranja.

**Tabla 25.***Propiedades lodo con cáscara de naranja al 2 %*

Naranja 2%		Rango aceptable	cumple?
Peso del lodo (ppg)	8,60	8,5-10	si
pH	10,93	8,5-10,5	no
Filtrado (cc)	11	<=12	si
Espesor revoque (pulg)	0,07874	no aplica	no aplica
Contenidos de sólidos (%)	20,50	3-10	no
Contenido de arena (%)	14,00	no aplica	no aplica
Viscosidad plástica (cP)	4	5-9	no
Punto cedente ( $Lb/100ft^2$ )	11	12-25	no
Viscosidad aparente (cP)	9,5	no aplica	no aplica
Gel Inicial ( $Lb/100ft^2$ )	4	5-10	no
Gel Final ( $Lb/100ft^2$ )	9	10-20	no
Viscosidad de embudo (seg/qt)	45,58	36-55	si
Pm (cc)	0,20	0,1-1,5	si
Pf (cc)	0,15	0,1-1	si
( $Ca^{+2}$ )(ppm)	10	40-240	no
Cl (ppm)	350	0-5000	si

**Nota.** Propiedades del lodo con cascara de naranja al 2 %.

Con los resultados que surgieron en esta sección donde es notorio que el peso del lodo, la alcalinidad del lodo y del filtrado, viscosidad de embudo y el contenido de cloruro siguen dichos estándares, mientras que el pH, contenido de sólidos, viscosidad plástica, los esfuerzos de gel y final, punto cedente y dureza total no alcanzan a cumplir estos parámetros. Por otro lado, es importante resaltar que respecto al lodo base el filtrado disminuyo en 14 mL y la formación de un revoque fino y consistente. Además, el aditivo actúa como un diluyente, pero al ir aumentando la concentración del aditivo por ser este un material fibroso produce que el punto cedente, viscosidad de embudo, y viscosidad aparente se incrementan, también sigue funcionando como un reductor de pH.

### 3.3.5 Lodo con cascara de naranja al 2,5 %

En el diseño de este fluido base se le agregaron 15 gramos del aditivo, lo cual es equivalente al 2,5% m/v para la medición de sus propiedades fisicoquímicas.

En la tabla 26 se plasman los datos conseguidos en los ensayos de laboratorio haciendo uso de 12 gramos del aditivo.

**Tabla 26.**

*Resultados pruebas laboratorio lodo con cascara de naranja al 2,5 %*

Naranja 2,5%			
Densidad		8,55	
pH		10,46	
Viscosidad de embudo		49,23	
Reología	Baja	300 rpm	17
		100 rpm	8
		3 rpm	3
	Alta	600 rpm	22
		200 rpm	12
		6 rpm	4
	Geles	Inicial	5
		Final	10
	Filtrado (mL)		10,5
Espesor cake (mm)		2	
Contenido sólidos (mL)		7,85	
Contenido arena (%)		16,00	
Alcalinidad del lodo (mL)		0,15	
Alcalinidad del filtrado (mL)		0,10	
Calcio (mL)		0,025	
Cloruros (mL)		0,35	

**Nota.** Datos de laboratorio del lodo con 15 gramos de la cascara de naranja.

Para hallar las propiedades fisicoquímicas del lodo se aplican los procedimientos explicados previamente en la sección 3.1.

La tabla 27 plasma las propiedades fluido cuya concentración del aditivo fabricado de la naranja es del 2,5% m/v.



**Tabla 27.***Propiedades lodo con cáscara de naranja al 2,5 %*

Naranja 2,5%		Rango aceptable	cumple?
Peso del lodo (ppg)	8,55	8,5-10	si
pH	10,46	8,5-10,5	si
Filtrado (cc)	10,5	<=12	si
Espesor revoque (pulg)	0,07874	no aplica	no aplica
Contenidos de sólidos (%)	21,50	3-10	no
Contenido de arena (%)	16,00	no aplica	no aplica
Viscosidad plástica (cP)	5	5-9	si
Punto cedente ( $Lb/100ft^2$ )	12	12-25	si
Viscosidad aparente (cP)	11	no aplica	no aplica
Gel Inicial ( $Lb/100ft^2$ )	5	5-10	si
Gel Final ( $Lb/100ft^2$ )	10	10-20	si
Viscosidad de embudo (seg/qt)	49,23	36-55	si
Pm (cc)	0,15	0,1-1,5	si
Pf (cc)	0,10	0,1-1	si
( $Ca^{+2}$ )(ppm)	10	40-240	no
Cl (ppm)	350	0-5000	si

**Nota.** Propiedades del lodo con cascara de naranja al 2,5 %.

Al hacer la respectiva comparación entre los valores de las propiedades obtenidas en este lodo se aprecia que el peso del lodo, pH, viscosidad plástica, punto cedente, esfuerzos de gel inicial y final, la alcalinidad del lodo y del filtrado, la viscosidad de embudo y el contenido de cloruros cumplen los parámetros establecidos para el buen desempeño de este, mientras que solo la dureza total y contenido de sólidos están fuera del rango. Por otra parte, se evidencia que el funcionamiento como controlador de filtrado es bueno respecto al obtenido en el lodo base logrando una reducción de 14,5 mL acompañado de un revoque fino y consistente. Para terminar, se aprecia que en esta concentración al ser un diluyente empieza a generar una disminución en el peso del lodo, mientras que por ser un material fibroso sigue originando un aumento en algunas de las propiedades reológicas como la viscosidad plástica, los esfuerzos de gel inicial y final, el punto cedente, viscosidad de embudo y viscosidad de embudo, generando mejores resultados que en la concentración anterior (3.3.5), además se aprecia que sigue disminuyendo el pH.

### 3.3.6 Lodo con cascara de naranja al 3 %

El diseño del fluido se hace a partir del lodo de referencia y suministrando 18 gramos del aditivo, cuya concentración m/v es 3 % para la realización pertinente de los ensayos de laboratorio.

La tabla 28 se plasma los resultados de las pruebas llevadas a cabo en el laboratorio con el uso de 18 gramos del aditivo.

**Tabla 28.**

*Resultados pruebas laboratorio lodo con cascara de naranja al 3 %*

Naranja 3%			
Densidad			8,55
pH			9,93
Viscosidad de embudo			53,10
Reología	Baja	300 rpm	19
		100 rpm	8
		3 rpm	3
	Alta	600 rpm	25
		200 rpm	13
		6 rpm	4
	Geles	Inicial	5
		Final	10
	Filtrado (mL)		
Espesor cake (mm)			2
Contenido sólidos (mL)			7,75
Contenido arena (%)			17,00
Alcalinidad del lodo (mL)			0,10
Alcalinidad del filtrado (mL)			0,50
Calcio (mL)			0,025
Cloruros (mL)			0,35

**Nota.** Datos de laboratorio del lodo con 15 gramos de la cascara de naranja.

En la determinación de las propiedades fisicoquímicas se hace la misma metodología que en la sección 3.1.

La tabla 29 contiene los valores del lodo con el polvo de la naranja al 3% m/v.

**Tabla 29.***Propiedades lodo con cáscara de naranja al 3 %*

Naranja 3%		Rango aceptable	cumple?
Peso del lodo (ppg)	8,55	8,5-10	si
pH	9,93	8,5-10,5	si
Filtrado (cc)	10	<=12	si
Espesor revoque (pulg)	0,07874	no aplica	no aplica
Contenidos de sólidos (%)	22,50	3-10	no
Contenido de arena (%)	17,00	no aplica	no aplica
Viscosidad plástica (cP)	6	5-9	si
Punto cedente ( $Lb/100ft^2$ )	13	12-25	si
Viscosidad aparente (cP)	12,5	no aplica	no aplica
Gel Inicial ( $Lb/100ft^2$ )	5	5-10	si
Gel Final ( $Lb/100ft^2$ )	10	10-20	si
Viscosidad de embudo (seg/qt)	53,10	36-55	si
Pm (cc)	0,10	0,1-1,5	si
Pf (cc)	0,10	0,1-1	si
( $Ca^{+2}$ )(ppm)	10	40-240	no
Cl (ppm)	350	0-5000	si

**Nota.** Propiedades del lodo con cascara de naranja al 3%.

El respectivo análisis de las propiedades de este fluido y los valores típicos de lodo de inicio se evidencia que el peso del lodo, pH, viscosidad plástica, punto cedente, esfuerzos de gel inicial y final, alcalinidad de lodo y filtrado, contenido de cloruros y viscosidad de embudo poseen magnitudes que cumplen con los parámetros de este tipo de fluido, en cuanto el contenido de sólidos y la dureza total están por fuera de estos. También se aprecia que sigue siendo un buen reductor de filtrado con 25 mL y un revoque más fino y compacto en comparación al del lodo base. Adicionalmente, debido a su efecto como diluyente al ser utilizado en grandes cantidades genera una disminución en el peso del lodo, además se siguió marcando la tendencia de un ligero aumento en las propiedades reológicas del fluido como la viscosidad plástica, el punto cedente, viscosidad aparente y la viscosidad de embudo que no son perjudiciales para un fluido de inicio ya que sigue presentando buenas características para un óptimo desempeño de este, sigue trabajando como reductor de pH.

### 3.3.7 Lodo con cascara de naranja al 3,5 %

En la preparación de este lodo se emplea el fluido base y se le adicionan 21 gramos del aditivo con una concentración equivalente al 3,5% m/v para la toma de pruebas.

La tabla 30 registra los resultados obtenidos en laboratorio al hacer uso de 21 gramos del aditivo.

**Tabla 30.**

*Resultados pruebas laboratorio lodo con cascara de naranja al 3,5 %*

Naranja 3,5%			
Densidad			8,45
pH			9,80
Viscosidad de embudo			60,25
Reología	Baja	300 rpm	21
		100 rpm	9
		3 rpm	3
	Alta	600 rpm	27
		200 rpm	14
		6 rpm	4
	Geles	Inicial	5
		Final	10
Filtrado (mL)			9,5
Espesor cake (mm)			2
Contenido sólidos (mL)			7,65
Contenido arena (%)			0,18
Alcalinidad del lodo (mL)			0,10
Alcalinidad del filtrado (mL)			0,05
Calcio (mL)			0,025
Cloruros (mL)			0,35

**Nota.** Datos de laboratorio del lodo con 21 gramos de la cascara de naranja.

Para hallar las propiedades físicas y químicas se emplea la misma metodología utilizada en la sección 3.1.

La tabla 31 establece los valores del lodo con el aditivo hecho de la cáscara de naranja al 3,5% m/v.

**Tabla 31.***Propiedades lodo con cáscara de naranja al 3,5 %*

Naranja 3,5%		Rango aceptable	cumple?
Peso del lodo (ppg)	8,45	8,5-10	no
pH	9,80	8,5-10,5	si
Filtrado (cc)	9,5	<=12	si
Espesor revoque (pulg)	0,07874	no aplica	no aplica
Contenidos de sólidos (%)	23,50	3-10	no
Contenido de arena (%)	18	no aplica	no aplica
Viscosidad plástica (cP)	6	5-9	si
Punto cedente ( $Lb/100ft^2$ )	15	12-25	si
Viscosidad aparente (cP)	13,5	no aplica	no aplica
Gel Inicial ( $Lb/100ft^2$ )	5	5-10	si
Gel Final ( $Lb/100ft^2$ )	10	10-20	si
Viscosidad de embudo (seg/qt)	60,25	36-55	no
Pm (cc)	0,10	0,1-1,5	si
Pf (cc)	0,05	0,1-1	no
( $Ca^{+2}$ )(ppm)	10	40-240	no
Cl (ppm)	350	0-5000	si

**Nota.** Propiedades del lodo con cascara de naranja al 3,5%.

En el respectivo análisis y comparación de los resultado obtenidos de las propiedades del lodo estudiado en esta sección y las características de un fluido de inicio se logra apreciar que el pH, Filtrado de lodo, viscosidad plástica, punto cedente, esfuerzos de gel inicial y final, alcalinidad del lodo y contenido de cloruros se encuentran dentro del rango de operabilidad, mientras que el peso del lodo, el contenido de solidos de baja gravedad específica, viscosidad de embudo, alcalinidad del filtrado y dureza total se encuentra fuera de estos valores. Por otra parte, en relación con el fluido de referencia el filtrado disminuye en 15,5 mL y el revoque es mucho más fino y de mejor contextura. Finalmente, el efecto del aditivo es el de un diluyente y altas concentraciones genera una disminución en el peso del lodo, aunque al ser un material fibroso en alta concentración sigue generando un aumento en las propiedades reológicas como el punto cedente, viscosidad plástica, viscosidad de embudo y viscosidad aparente. Se sigue presentando un efecto notorio a la hora de reducir el pH.

### 3.3.8 Lodo con cascara de naranja al 4 %

En el diseño de este fluido se realiza con el lodo de referencia adicionándole 24 gramos del polvo de cáscara de naranja cuya concentración equivalente es al 4% m/v.

La tabla 32 plasma los datos generados en laboratorio al emplear 24 gramos del aditivo.

**Tabla 32.**  
*Resultados pruebas laboratorio lodo con cascara de naranja al 4 %*

Naranja 4%			
Densidad			8,25
pH			9,60
Viscosidad de embudo			69,20
Reología	Baja	300 rpm	23
		100 rpm	10
		3 rpm	3
	Alta	600 rpm	30
		200 rpm	15
		6 rpm	4
	Geles	Inicial	5
		Final	10
Filtrado (mL)			9
Espesor cake (mm)			2
Contenido sólidos (mL)			7,55
Contenido arena (%)			0,19
Alcalinidad del lodo (mL)			0,05
Alcalinidad del filtrado (mL)			0,025
Calcio (mL)			0,025
Cloruros (mL)			0,35

**Nota.** Datos de laboratorio del lodo con 24 gramos de la cascara de naranja.

Las propiedades del fluido estudiado se obtienen a partir del procedimiento manejado en la sección 3.1.

La tabla 33 registra los valores y características del lodo estudiado con una concentración del aditivo al 4%.

**Tabla 33.***Propiedades lodo con cáscara de naranja al 4 %*

Naranja 4%		Rango aceptable	cumple?
Peso del lodo (ppg)	8,25	8,5-10	no
pH	9,60	8,5-10,5	si
Filtrado (cc)	9	<=12	si
Espesor revoque (pulg)	0,07874	no aplica	no aplica
Contenidos de sólidos (%)	24,50	3-10	no
Contenido de arena (%)	19	no aplica	no aplica
Viscosidad plástica (cP)	7	5-9	si
Punto cedente ( $Lb/100ft^2$ )	16	12-25	si
Viscosidad aparente (cP)	15	no aplica	no aplica
Gel Inicial ( $Lb/100ft^2$ )	5	5-10	si
Gel Final ( $Lb/100ft^2$ )	10	10-20	si
Viscosidad de embudo (seg/qt)	69,20	36-55	no
Pm (cc)	0,05	0,1-1,5	no
Pf (cc)	0,025	0,1-1	no
( $Ca^{+2}$ )(ppm)	10	40-240	no
Cl (ppm)	350	0-5000	si

**Nota.** Propiedades del lodo con cascara de naranja al 4%.

Al revisar si las propiedades obtenidas concuerdan con los valores típicos de un lodo de inicio se aprecia que el pH, filtrado de lodo, viscosidad plástica, esfuerzos de gel inicial y final, punto cedente y la cantidad de cloruros operan bajo dichos criterios, en cuanto el peso del lodo, contenido de sólidos, alcalinidad del lodo y del filtrado, viscosidad de embudo y dureza total no los cumplen. Por otro lado, en relación con el fluido base se aprecia una reducción de 16 mL en el filtrado junto con la presencia de un revoque más fino y consistente. Adicionalmente, sigue actuando como un dispersante que a grandes concentraciones como la que se está manejando genera una disminución en el peso y pH que además al ser un material fibroso agregado en grandes cantidades genera un aumento los valores de la viscosidad plástica, punto cedente, viscosidad de embudo y viscosidad aparente, todas pertenecientes a la reología.

### 3.3.9 Lodo con cascara de naranja al 4,5 %

Para la formulación de este lodo se le echan 27 gramos del aditivo al fluido base 24 lo cual es una concentración equivalente al 4,5 % m/v.

La tabla 34 registra la información obtenida en el laboratorio cuando se utilizan 27 gramos del aditivo.

**Tabla 34.**

*Resultados pruebas laboratorio lodo con cascara de naranja al 4,5 %*

Naranja 4,5%			
Densidad		8,15	
pH		9,15	
Viscosidad de embudo		79,13	
Reología	Baja	300 rpm	26
		100 rpm	12
		3 rpm	4
	Alta	600 rpm	35
		200 rpm	19
		6 rpm	5
	Geles	Inicial	6
		Final	11
Filtrado (mL)		9	
Espesor cake (mm)		2	
Contenido sólidos (mL)		7,45	
Contenido arena (%)		0,20	
Alcalinidad del lodo (mL)		0,025	
Alcalinidad del filtrado (mL)		< 0,025	
Calcio (mL)		0,025	
Cloruros (mL)		0,35	

**Nota.** Datos de laboratorio del lodo con 27 gramos de la cascara de naranja.

Para la determinación de los valores de las propiedades fisicoquímicas del fluido objeto de estudio se hace uso de los mismos procedimientos de la sección 3.1.

En la tabla 35 están plasmadas las cuantificaciones de las propiedades de este lodo con 27 gramos del aditivo de cáscara de naranja en polvo.



**Tabla 35.***Propiedades lodo con cáscara de naranja al 4,5 %*

Naranja 4,5%		Rango aceptable	cumple?
Peso del lodo (ppg)	8,15	8,5-10	no
pH	9,15	8,5-10,5	si
Filtrado (cc)	8,5	<=12	si
Espesor revoque (pulg)	0,07874	no aplica	no aplica
Contenidos de sólidos (%)	25,50	3-10	no
Contenido de arena (%)	20	no aplica	no aplica
Viscosidad plástica (cP)	9	5-9	si
Punto cedente ( $Lb/100ft^2$ )	17	12-25	si
Viscosidad aparente (cP)	17,5	no aplica	no aplica
Gel Inicial ( $Lb/100ft^2$ )	6	5-10	si
Gel Final ( $Lb/100ft^2$ )	11	10-20	si
Viscosidad de embudo (seg/qt)	79,13	36-55	no
Pm (cc)	0,025	0,1-1,5	no
Pf (cc)	< 0,025	0,1-1	no
( $Ca^{+2}$ )(ppm)	10	40-240	no
Cl (ppm)	350	0-5000	si

**Nota.** Propiedades del lodo con cascara de naranja al 4,5 %.

Al hacer la observación de estas propiedades se evidencia que propiedades como el pH, filtrado de lodo, la viscosidad plástica, el punto cedente y el contenido de cloruros se encuentran dentro de los parámetros, mientras que el peso del lodo, contenido de sólidos, los geles inicial y final, el contenido de arena, la alcalinidad del lodo y del filtrado, la viscosidad de embudo y dureza total incumplen con estos. Por otra parte, sigue presentando en relación con el fluido base un buen filtrado con una reducción de 16,5 mL con la conformación de un buen revoque, fino y consistente. Finalmente, al ser un dispersante que se encuentra en grandes cantidades en este fluido produce una reducción del peso del lodo, pero a su vez al ser un material fibroso hace que propiedades como el punto cedente, la viscosidad plástica, viscosidad aparente aumenten su valor e incluso ocasiona es que los geles se incrementen demasiado y salgan del parámetro de operatividad.

### **3.3.10 Lodo con cascara de naranja al 5 %**

En la preparación de este fluido se emplean 30 gramos del aditivo al lodo de referencia que representa una concentración igual al 5 % m/v.

La tabla 36 plasma la información conseguida en el laboratorio cuando se utilizan 30 gramos del aditivo.

**Tabla 36.**

*Resultados pruebas laboratorio lodo con cascara de naranja al 5 %*

Naranja 5%			
Densidad		8,10	
pH		8,94	
Viscosidad de embudo		92,50	
Reología	Baja	300 rpm	31
		100 rpm	15
		3 rpm	5
	Alta	600 rpm	44
		200 rpm	24
		6 rpm	6
	Geles	Inicial	7
		Final	17
	Filtrado (mL)		8
Espesor cake (mm)		2	
Contenido sólidos (mL)		7,25	
Contenido arena (%)		> 20,00%	
Alcalinidad del lodo (mL)		< 0,025	
Alcalinidad del filtrado (mL)		< 0,025	
Calcio (mL)		0,025	
Cloruros (mL)		0,35	

**Nota.** Datos de laboratorio del lodo con 30 gramos de la cascara de naranja.

La obtención de las características de este fluido se hace con las fórmulas utilizadas en la sección 3.1.

La tabla 37 registran los valores cuando se emplea una concentración del 5% m/v del aditivo.

**Tabla 37.***Propiedades lodo con cáscara de naranja al 5 %*

Naranja 5%		Rango aceptable	cumple?
Peso del lodo (ppg)	8,10	8,5-10	no
pH	8,94	8,5-10,5	si
Filtrado (cc)	8	<=12	si
Espesor revoque (pulg)	0,07874	no aplica	no aplica
Contenidos de sólidos (%)	27,50	3-10	no
Contenido de arena (%)	>20	no aplica	no aplica
Viscosidad plástica (cP)	13	5-9	no
Punto cedente ( $Lb/100ft^2$ )	18	12-25	si
Viscosidad aparente (cP)	22	no aplica	no aplica
Gel Inicial ( $Lb/100ft^2$ )	7	5-10	si
Gel Final ( $Lb/100ft^2$ )	17	10-20	si
Viscosidad de embudo (seg/qt)	92,50	36-55	no
Pm (cc)	< 0,025	0,1-1,5	no
Pf (cc)	< 0,025	0,1-1	no
( $Ca^{+2}$ )(ppm)	10	40-240	no
Cl (ppm)	350	0-5000	si

**Nota.** Propiedades del lodo con cascara de naranja al 5 %.

Con la cuantificación de las propiedades y con la comparación de estos resultados en relación con los rangos típicos de un lodo de inicio base agua es notorio que el pH, filtrado de lodo, el punto cedente, y el contenido de cloruros cumplen con dichos valores, mientras el peso del lodo, contenido de sólidos, la viscosidad plástica, los esfuerzos de gel inicial y final, la alcalinidad del lodo y del filtrado, la viscosidad de embudo y la dureza total no se encuentran dentro de los criterios establecidos. Por otra parte, la reducción del filtrado es de 17 mL con la formación de un revoque fino y consistente. Para terminar, se parecía que a pesar de ser un dispersante el aditivo en grandes concentraciones por ser un material fibroso genera un aumento en el perfil reológico haciendo que las propiedades como los geles inicial y final, viscosidad plástica, viscosidad de embudo, viscosidad aparente y punto cedente se eleven y salgan de los parámetros ya mencionados.

### 3.4 Gráficas de tendencia de las propiedades físicas

Debido a que el trabajo se centrado en las propiedades físicas, este segmento se muestra las gráficas construidas a partir de la caracterización de estas, por medio de los

lodos formulados y preparados para esta investigación y para analizar la tendencia que siguen al usarse cada uno de los aditivos en diferentes concentraciones. Las gráficas partirán desde la concentración del 0% la cual pertenece a las propiedades medidas en el fluido de referencia donde no se le ha agregado ninguna cantidad de alguno de los aditivos hasta la cantidad o concentración trabajada por cada uno de ellos.

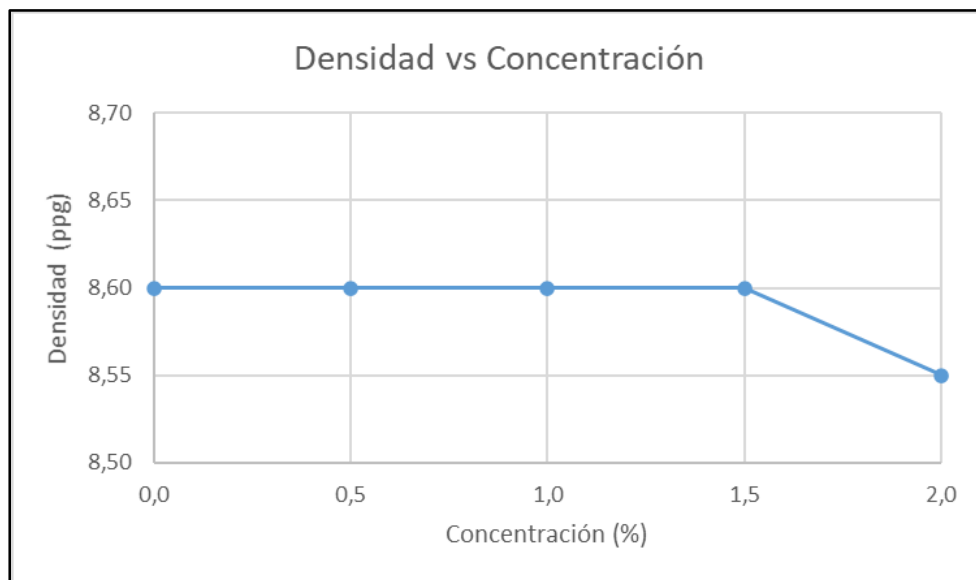
### 3.4.1 Gráficas lodos con PAC-LV

Para la PAC-LV se realizan las gráficas desde una concentración del 0% hasta el 2% concentración m/v debido a que en estas se encuentran todos los valores de las propiedades físicas sin que ninguno falte.

En la figura 30 se encuentra la gráfica de la densidad del lodo vs concentración con el aditivo celulosa polianiónica de baja viscosidad.

**Figura 30.**

*Gráfica peso del lodo vs concentración (PAC-LV)*



**Nota.** Gráfica densidad vs concentración desde los valores del lodo de referencia hasta el fluido con PAC-LV al 2% m/v.

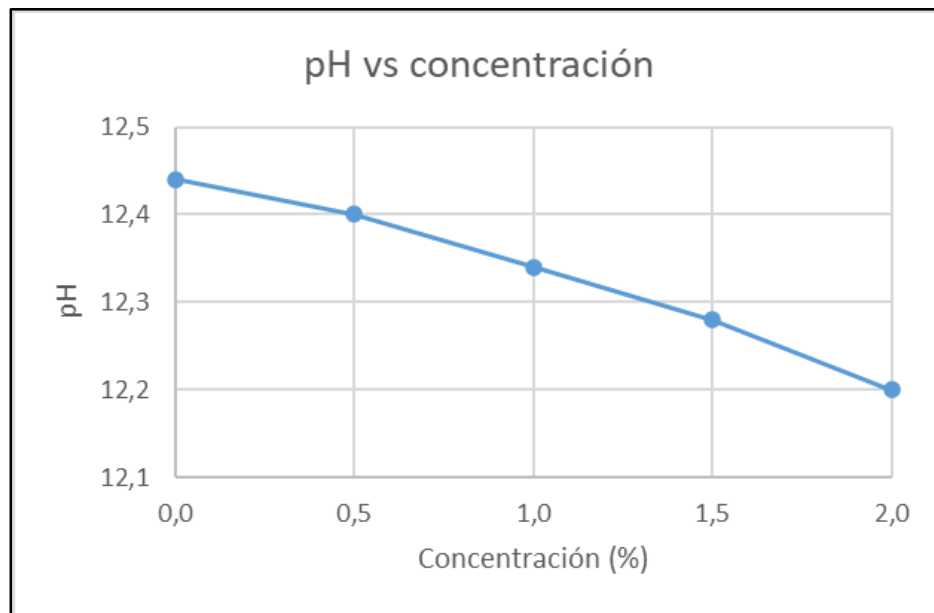
La gráfica en su mayoría muestra un comportamiento lineal, y cuando alcanza el 2% empieza a experimentar una ligera disminución esto ocurre debido a la solubilización del polímero en la mezcla, cuando esto ocurre se genera una hidratación en forma de

recubrimientos de agua de gran espesor que se juntan de 3 a 4 moléculas de esta sustancia por lo general, además existe una fuerza que repele electrostáticamente estos recubrimientos haciendo que adquieran superficies más grandes cuando el polímero adquiere la forma de extensión total. Finalmente, al aumentarse la concentración el aditivo tiende a formar envolturas de agua más pequeñas generando una mayor repulsión que produce un aumento o expansión de la superficie de la estructura molecular del polímero, afectando la densidad del fluido que también es conocida como peso del lodo que es tomada con la balanza dado que se necesita una menor cantidad de fluido (masa) para llenar el volumen de la recamara de muestra del equipo haciendo que la lectura obtenida sea menor por causa del hinchamiento o inflación que presenta el fluido en concentraciones mayores al 2%.

La figura 31 se muestra la gráfica de pH vs concentración del lodo empleando el aditivo PAC-LV.

**Figura 31.**

*Gráfica pH vs concentración (PAC-LV)*



**Nota.** Gráfica pH vs concentración desde los valores del lodo de referencia hasta el fluido con PAC-LV al 2% m/v.

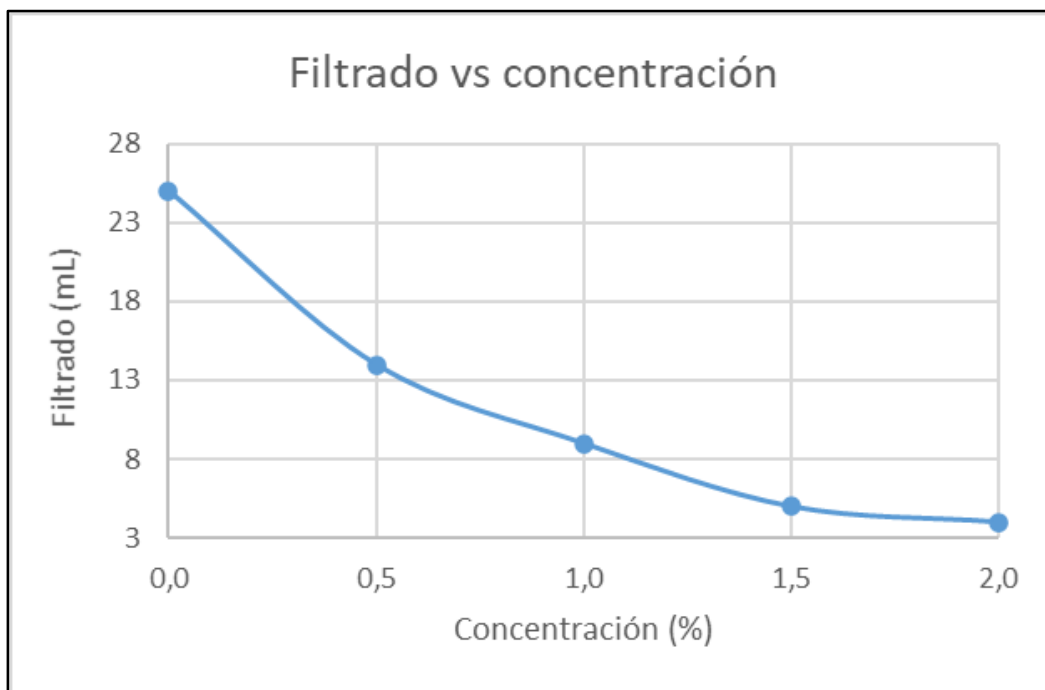
En esta se observa una tendencia de declinación, es decir que el valor del pH va disminuyendo a medida que se va aumentando la concentración, esta reducción obedece

a la composición química y a al origen del aditivo que es a partir de la sal de sodio del ácido cloroacético que produce un efecto de disminución del carácter básico que el fluido presenta que se ve reflejado en el medido pH y que es más fuerte a medida que se aumenta la concentración.

En la figura 32 se muestra la gráfica de filtrado vs concentración cuando se emplea el aditivo PAC-LV en una concentración entre 0% - 2%.

**Figura 32.**

*Gráfica Filtrado vs concentración (PAC-LV)*



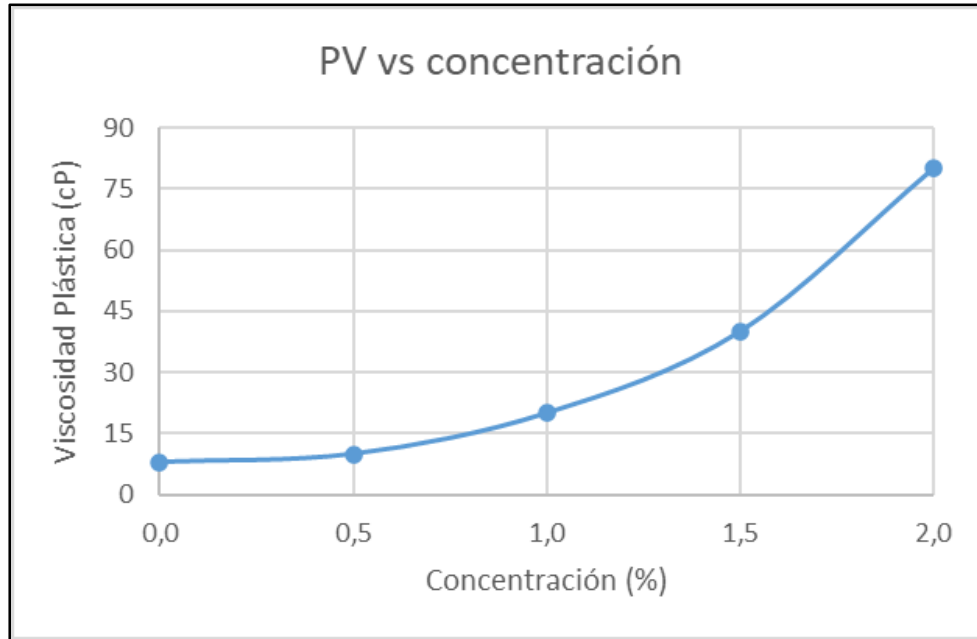
**Nota.** Gráfica filtrado vs concentración desde los valores del lodo de referencia hasta el fluido con PAC-LV al 2% m/v.

Se observa un comportamiento exponencial en donde a medida que se aumenta la cantidad del aditivo, se genera una menor disminución en el filtrado generado por el fluido, es decir que la PAC-LV es más eficiente para controlar el filtrado en concentraciones pequeñas. Puesto que en una concentración del 0,5% logra disminuir este en un 44% respecto al del fluido base, el 1% genera una reducción del 64%, el 1,5% produce un bajón equivalente al 80%, y el 2% una merma igual al 84%, donde es evidente que los mejores efectos se encuentran entre el 0,5% y 1% (44% y 64%).

La figura 33 es gráfica de viscosidad plástica vs concentración cuando se emplea la celulosa polianiónica de baja viscosidad en una concentración entre 0% - 2%.

**Figura 33.**

*Gráfica viscosidad plástica vs concentración (PAC-LV)*



**Nota.** Gráfica viscosidad plástica vs concentración desde los valores del lodo de referencia hasta el fluido con PAC-LV al 2% m/v.

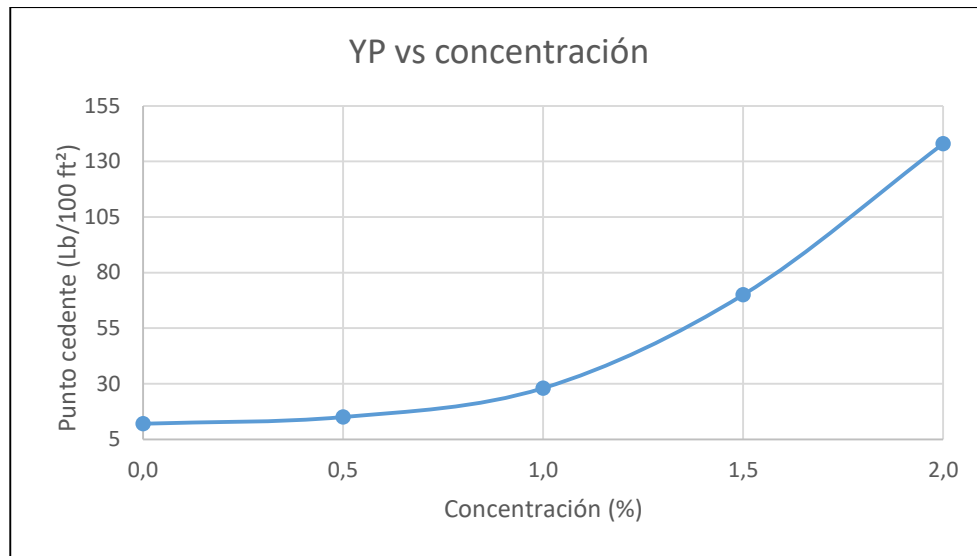
Es esta gráfica se aprecia un comportamiento exponencial donde a medida que se aumenta la concentración de PAC-LV la viscosidad plástica también incrementa esto es debido a que este aditivo es un polímero natural modificado por lo cual con su solubilización en el agua hidrata envolturas de agua de un grosor grande que contienen de 3 a 4 moléculas de dicha sustancia, estos recubrimientos se repelen electrostáticamente entre ellos. En consecuencia, al aumentar la concentración del aditivo los recubrimientos de agua disminuyen su tamaño produciendo una especie de lucha o competencia entre las estructuras moleculares del polímero por las moléculas de agua que se ve reflejada en un aumento de la viscosidad. Por tal motivo, a mayor concentración de este el efecto producido en las propiedades reológicas es más fuerte. En la gráfica se aprecia que el 1% tiene un valor que es el doble al obtenido en 0,5 %,

así mismo el conseguido en el 1,5 dobla el resultado del 1% y finalmente el de 2% también duplica el registrado en 1,5%.

En la figura 34 se grafica el punto cedente vs concentración utilizando como aditivo controlador de filtrado y de perfil reológico a la PAC-LV en concentraciones que oscilan entre 0% - 2%.

**Figura 34.**

*Gráfica Punto cedente vs concentración (PAC-LV)*



**Nota.** Gráfica punto cedente vs concentración desde los valores del lodo de referencia hasta el fluido con PAC-LV al 2% m/v.

En esta gráfica se ve una tendencia parecida a la anterior, eso quiere decir que a medida que la concentración del aditivo va creciendo el punto cedente también se ve afectado presentando un incremento bastante significativo que es ocasionado por las fuertes interacciones moleculares que ocurren entre las arcillas, el agua presente en el fluido y la PAC-LV y que es un polímero natural modificado. También se aprecia que con una concentración de 0,5% estas interacciones no son tan fuertes generando un leve aumento respecto al 0%, con el 1% si se aprecia que estas son más fuertes que las generadas con el 0,5% así mismo con 1,5% es aun mucho mas grande esta que con 1% y finalmente se aprecia que las mas fuertes son generadas en el 2% presentando el mayor aumento en relación a las mencionadas previamente. Este comportamiento es generado por la manera en que se solubiliza en aditivo en el agua formando

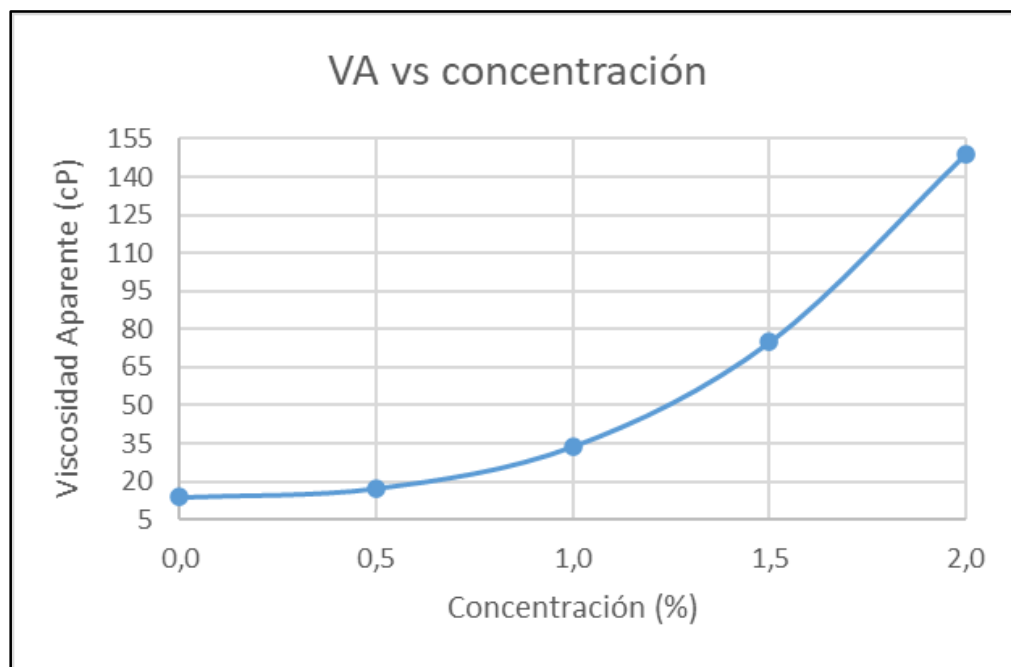


recubrimientos de agua que un comienzo están compuestos por 3 o 4 moléculas y que poseen una fuerza de repulsión electrostática entre ellas, como se dijo previamente al aumentar la concentración se produce una reducción del tamaño de dichos recubrimientos de agua que se evidencia en un mayor aumento en las fuerzas de repulsión existentes entre las moléculas de agua lo cual ocasiona que el punto cedente al ser una medida de las interacciones intermoleculares y de las cargas químicas del fluido aumente significativamente.

La figura 35 representa gráfica de la viscosidad aparente vs concentración en fluidos formulados con el PAC-LV en concentraciones entre 0% - 2%.

**Figura 35.**

*Gráfica viscosidad aparente vs concentración (PAC-LV)*



**Nota.** Gráfica viscosidad plástica vs concentración desde los valores del lodo de referencia hasta el fluido con PAC-LV al 2% m/v.

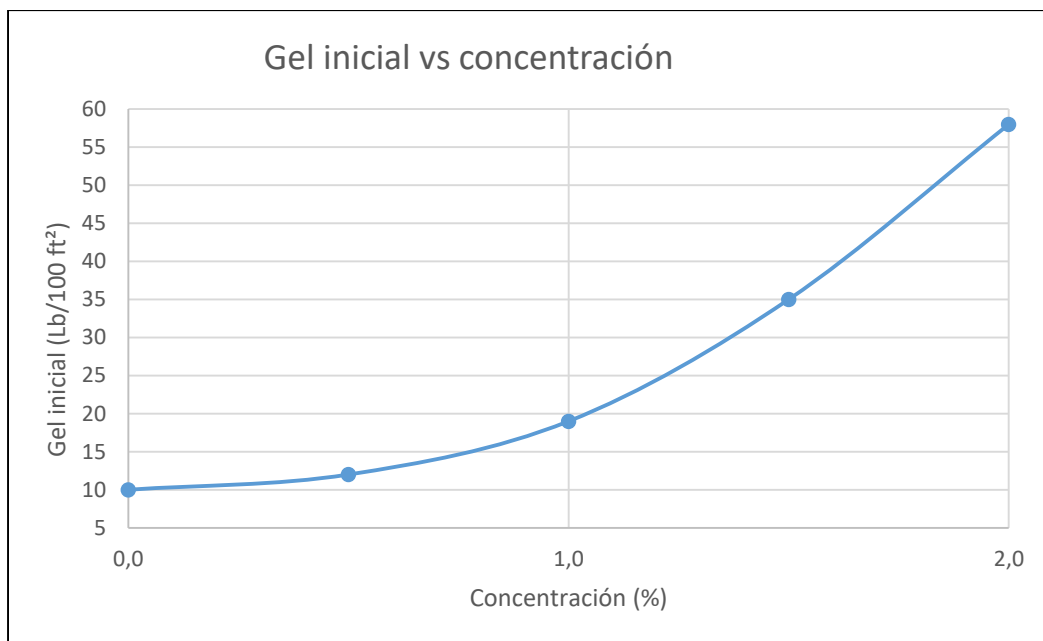
La tendencia que se sigue esta propiedad también es exponencial en donde a medida que se adiciona mayor cantidad del aditivo es mayor el incremento de la viscosidad aparente, experimentando un leve aumento en la concentración de 0,5%, en la de 1% un aumento mayor respecto al anterior, en la de 1,5% esta elevación de esta propiedad es más fuerte que en la anterior concentración y finalmente en la de 2% donde el alza de

esta magnitud en la más grande. Este efecto es generado por las mismas causas ya mencionadas previamente en el análisis de la gráfica de viscosidad plástica vs concentración de la PAC-LV.

La figura 36 contiene la gráfica generada a partir del esfuerzo de gel inicial respecto a la concentración del aditivo celulosa polianiónica de baja viscosidad en una concentración entre 0% - 2%.

**Figura 36.**

*Gráfica gel inicial vs concentración (PAC-LV)*



**Nota.** Gráfica gel inicial vs concentración desde los valores del lodo de referencia hasta el fluido con PAC-LV al 2% m/v.

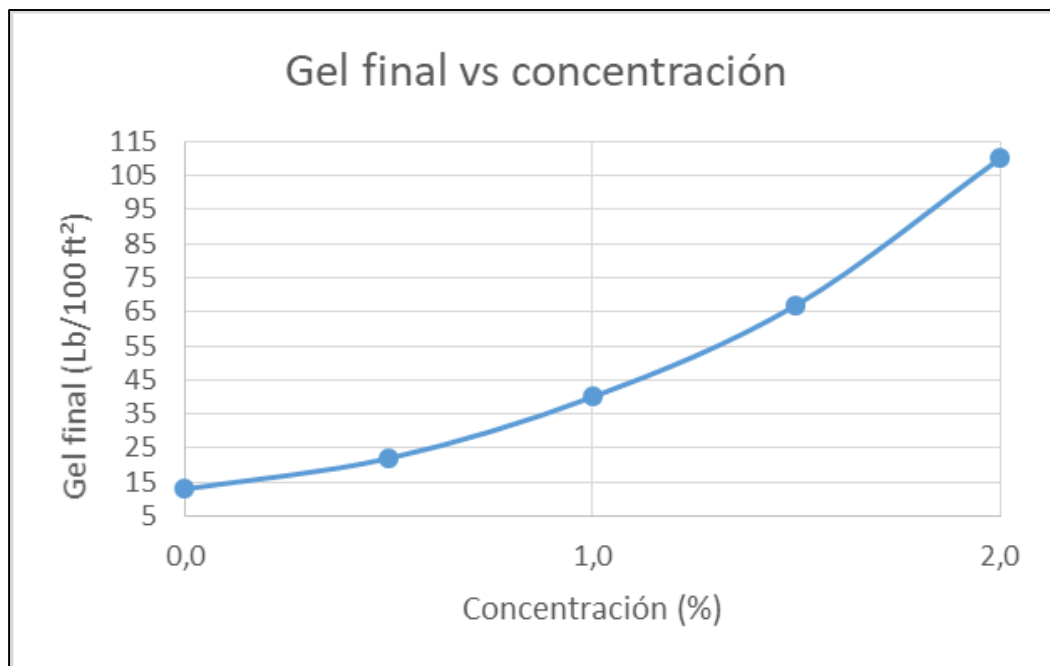
El gel inicial tiene el mismo comportamiento que vienen presentando las propiedades reológicas, el cual consiste en que a medida que se adiciona una mayor concentración de PAC-LV esta propiedad va aumentando con mayor magnitud generando un disparado del gel inicial en concentraciones como 1,5% y 2% donde toma valores demasiados altos para un lodo de inicio. Este comportamiento es producido por las causas nombradas previamente en las otras propiedades reológicas en relación con el comportamiento que adopta el polímero en su interacción con las arcillas y agua presentes en el fluido que

afectan el comportamiento de sus estructura y propiedades. Esto genera que al estar estático el fluido adopte una estructura de gel por la poca presencia de agua.

La figura 37 corresponde a la gráfica del esfuerzo de gel vs concentración empleando la celulosa polianiónica de baja viscosidad en concentraciones que oscilan entre 0% - 2%.

**Figura 37.**

*Gráfica gel final vs concentración (PAC-LV)*



**Nota.** Gráfica gel final vs concentración desde los valores del lodo de referencia hasta el fluido con PAC-LV al 2% m/v.

En esta figura es notable que la tendencia que se venían marcando en las otras propiedades que componen el perfil reológico del fluido también se cumple en este caso lo cual quiere decir que sigue un comportamiento exponencial y en cuanto la concentración de la celulosa polianiónica aumenta, la magnitud del gel final lo hace. Presentando un mayor aumento en las concentraciones de 1%, 1,5% y 2% donde presentan una mayor saturación del aditivo y por ende un disparo de esta característica del lodo medida. Esta tendencia es generada por las razones previamente enunciadas en las otras propiedades reológicas en relación con el comportamiento que adopta el

polímero a causa de su interacción con las arcillas y agua presentes en el lodo que afectan el comportamiento de sus estructura y propiedades.

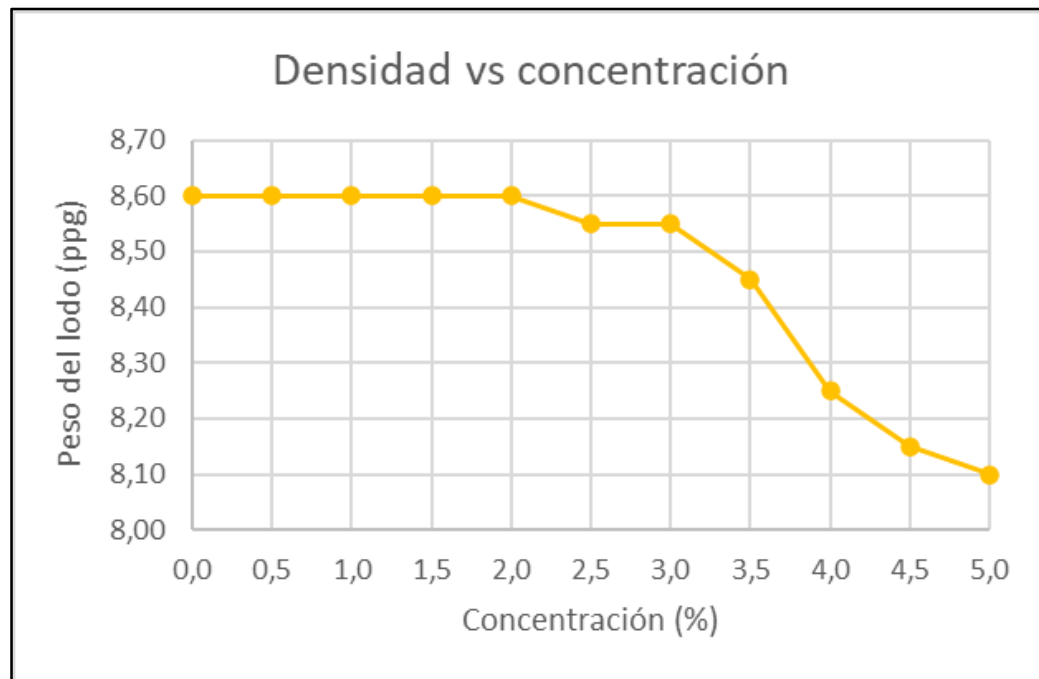
### 3.4.2 *Graficas lodos con polvo de cáscaras de naranja*

Para el aditivo del polvo de cáscara de naranja se hacen las gráficas desde una concentración del 0% hasta el 5% concentración m/v puesto que en estas se obtienen todos los datos y se calculan todas las propiedades físicas.

En la figura 38 se encuentra la gráfica de la densidad del lodo vs concentración con el aditivo hecho a partir de la cáscara de naranja.

**Figura 38.**

*Gráfica peso del lodo vs concentración (Naranja)*



**Nota.** Gráfica peso del lodo vs concentración desde los valores del lodo de referencia hasta el fluido con 5% m/v de la cáscara de naranja.

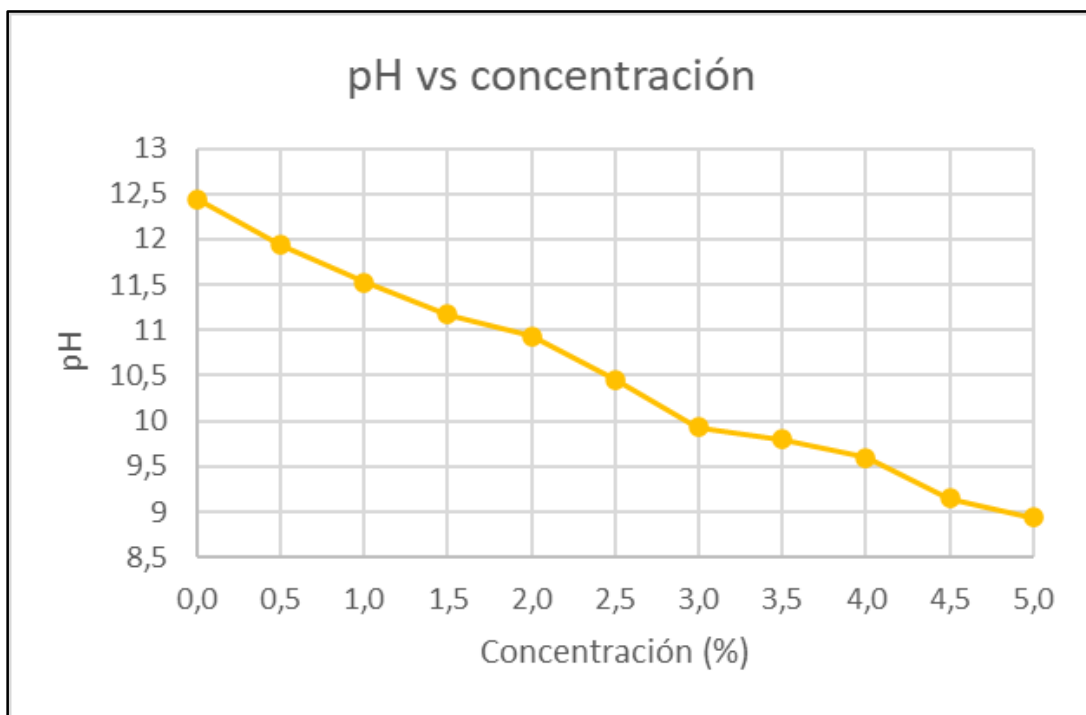
En la gráfica se aprecia que el peso de las concentraciones del 0% al 2% maneja un comportamiento lineal, después de esta empieza a experimentar unos ligeros cambios donde en 2,5% y 3% poseen la misma magnitud y posteriormente en las concentraciones restantes experimenta diversos descensos a medida que aumenta la presencia del aditivo. Este comportamiento se debe a la función de diluyente que cumple el aditivo.

orgánico biodegradable genera que las interacciones moleculares entre las arcillas del fluido sean menores evitando su floculación e hinchamiento hasta tal punto que genera una reducción en el peso del lodo que es más evidente a medida que la concentración es más alta, esto es ocasionado por la presencia de potasio en la cáscara de la naranja que es un catión que crea un enlace que mantiene juntas a las partículas que componen la arcilla. Adicionalmente la presencia de espuma también afecta al peso del lodo generando reducciones en su valor.

La figura 39 grafica el pH vs concentración haciendo uso del aditivo de cáscaras de naranja.

**Figura 39.**

*Gráfica pH vs concentración (Naranja)*



**Nota.** Gráfica pH vs concentración desde los valores del lodo de referencia hasta el fluido con 5% m/v de la cáscara de naranja

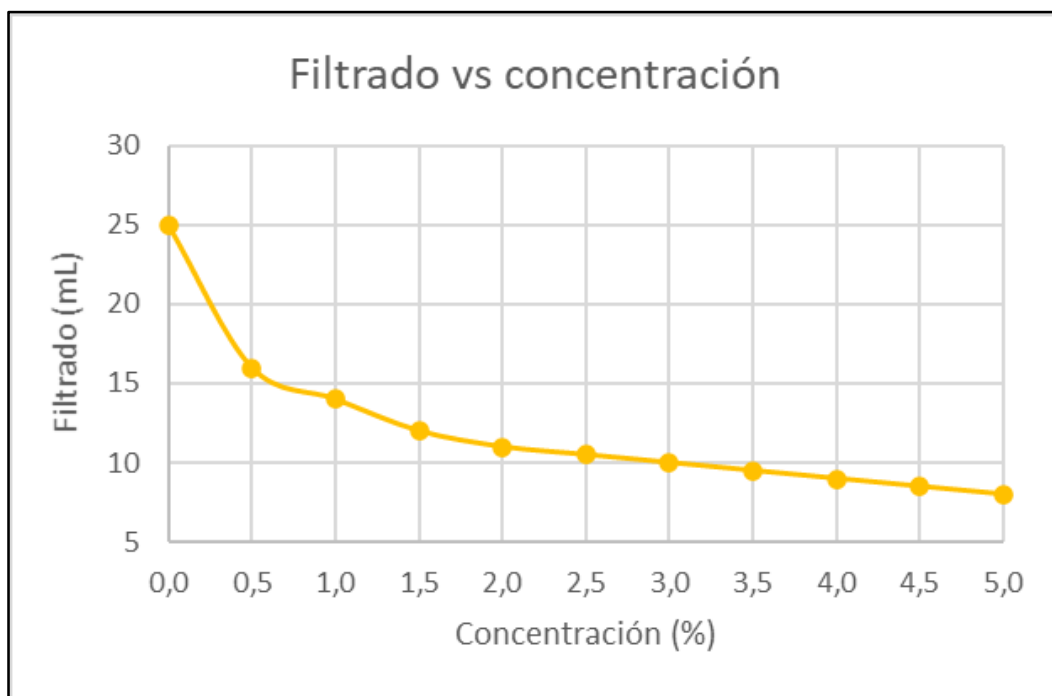
En esta oportunidad se logra apreciar que este aditivo produce un efecto en el pH que es lineal o proporcional a la concentración de este, es decir que a medida que aumenta la cantidad del polvo de la cáscara de naranja usada se observa que la tendencia generada por él es una disminución en esta propiedad que muestra claramente una

declinación casi uniforme. Esto permite determinar que es muy buen controlador y reductor de pH. Adicionalmente este efecto es producido por la composición química de la naranja debido a que posee sustancias como el ácido cítrico y el ácido ascórbico generan una reducción en el carácter básico del fluido de inicio haciendo que esta sea más pronunciada y notoria a medida que la presencia del aditivo es mayor.

En la figura 40 se tiene la gráfica del filtrado vs concentración cuando se utiliza el aditivo fabricado tomando las cáscaras de naranja.

**Figura 40.**

*Gráfica filtrado vs concentración (Naranja)*



**Nota.** Gráfica filtrado vs concentración desde los valores del lodo de referencia hasta el fluido con 5% m/v de la cáscara de naranja.

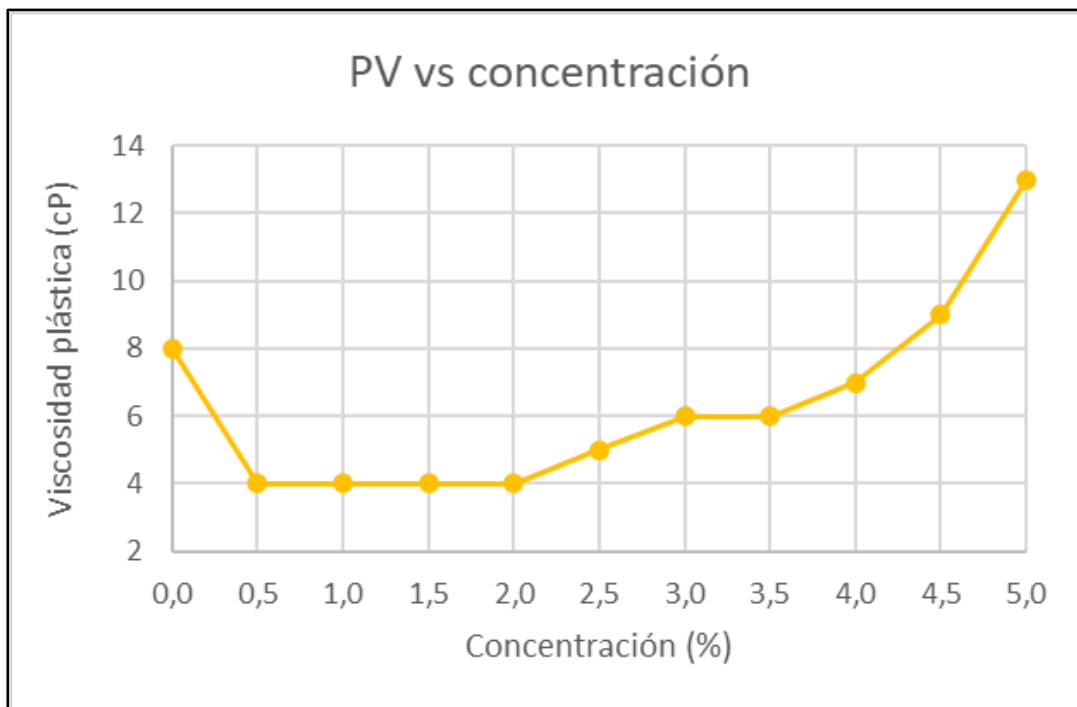
Se puede apreciar en esta grafica que el filtrado y la concentración del polvo de la cáscara de naranja tienen una relación que es inversamente proporcional al filtrado obtenido. Adicionalmente se observó una mejor efectividad del aditivo en las primeras concentraciones, en la de 0,5% genera una reducción del 36% en relación al filtrado original, la de 1% produce una disminución del 44%, en estas dos se aprecia una mejora en control de filtrado bastante significativa, posteriormente en las otras concentraciones

se sigue obteniendo una merma en el filtrado que no es tan representativa como las otras ya que el 1,5% lo reduce en un 52%, el 2% en un 56%, el 2,5% del 58%, el 3% del 60%, el 3,5% de un 62%, el 4% del 64%, el 4,5% de un 66% y finalmente el del 5% del 68%, aunque si se sigue mejorando esta propiedad de poco en poco. Estas reducciones se dan porque el aditivo de la cáscara de naranja es un material fibroso rico en glucosa que es el componente principal de la celulosa y el cual, al ser secado, triturado y tamizado, produce unos sólidos bastante finos, ayuda a la formación de un buen revoque fino y consistente que evita las pérdidas de la fase continua del lodo.

La figura 41 muestra la gráfica de la viscosidad plástica vs concentración cuando se emplea el aditivo hecho para llevar a cabo esta investigación para la formulación de varios lodos con diferentes cantidades de este.

**Figura 41.**

*Gráfica viscosidad plástica vs concentración (Naranja)*



**Nota.** Gráfica viscosidad plástica vs concentración desde los valores del lodo de referencia hasta el fluido con 5% m/v de la cáscara de naranja.

Se evidencia que el primer efecto que genera es una reducción significativa en esta propiedad que mantiene su tendencia y es constante desde la concentración del 0,5%

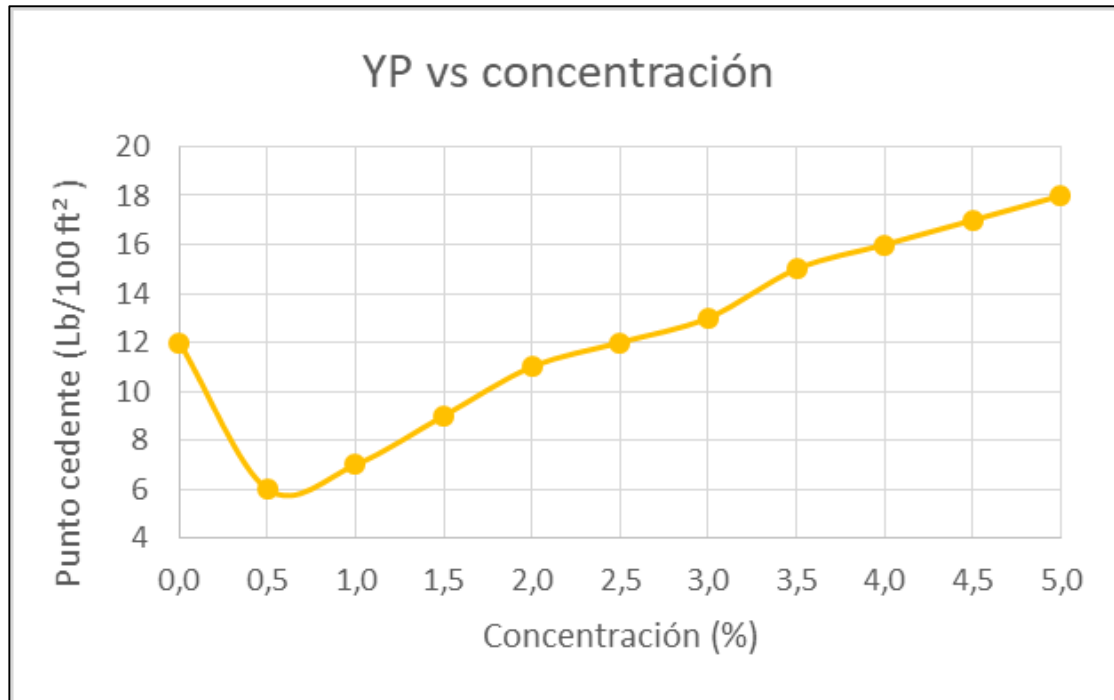
hasta la de 2%, posteriormente empieza a generar un incremento de esta y el 3% y el 3,5% consigue un valor constante y finalmente en las posteriores concentraciones empieza a experimentar un crecimiento exponencial, dicho comportamiento se explica por dos situaciones que experimenta el fluido. La primera, que es causada por el efecto diluyente que posee el aditivo que consiste en la interacción que sufren las arcillas con el catión potasio ( $K^+$ ) al formar enlaces que mantienen las partículas que conforman las lutitas juntas haciendo que el agua contenida en los iones de calcio ( $Ca^{2+}$ ) presentes en la bentonita se reduzca causando un efecto de disminución en su diámetro que puede alcanzar valores de hasta 19,2 Angstrom (Å), adicionalmente la hidratación de los iones de potasio, aportados por la cáscara de la naranja que pueden tener tamaños de hasta 7,6 Å, disminuyen la cantidad de agua presentes en los iones de  $Ca^{2+}$  que se encontraban bastante hidratados, produciendo un deshinchamiento de las arcillas que se explica por una reducción del espacio existente entre las capas que la conforman por la reducción del diámetro hidrato del  $Ca^{2+}$  y la fuerza de los enlaces formados por el  $K^+$ , lo cual se traduce en un aumento significativo de la viscosidad. En segundo lugar, el fluido experimenta un aumento que es ligero, pero a la vez progresivo de esta propiedad el cual es originado por la cantidad de sólidos que trae el aditivo orgánico biodegradable al provenir de un material fibroso rico en glucosa que da lugar a la formación de celulosa presente en la piel de la naranja va haciendo que de manera sutil haya un incremento en la viscosidad el fluido.

En la figura 42 está la gráfica del punto cedente vs concentración empleando el aditivo hecho de las cáscaras de naranja.



**Figura 42.**

*Gráfica punto cedente vs concentración (Naranja)*



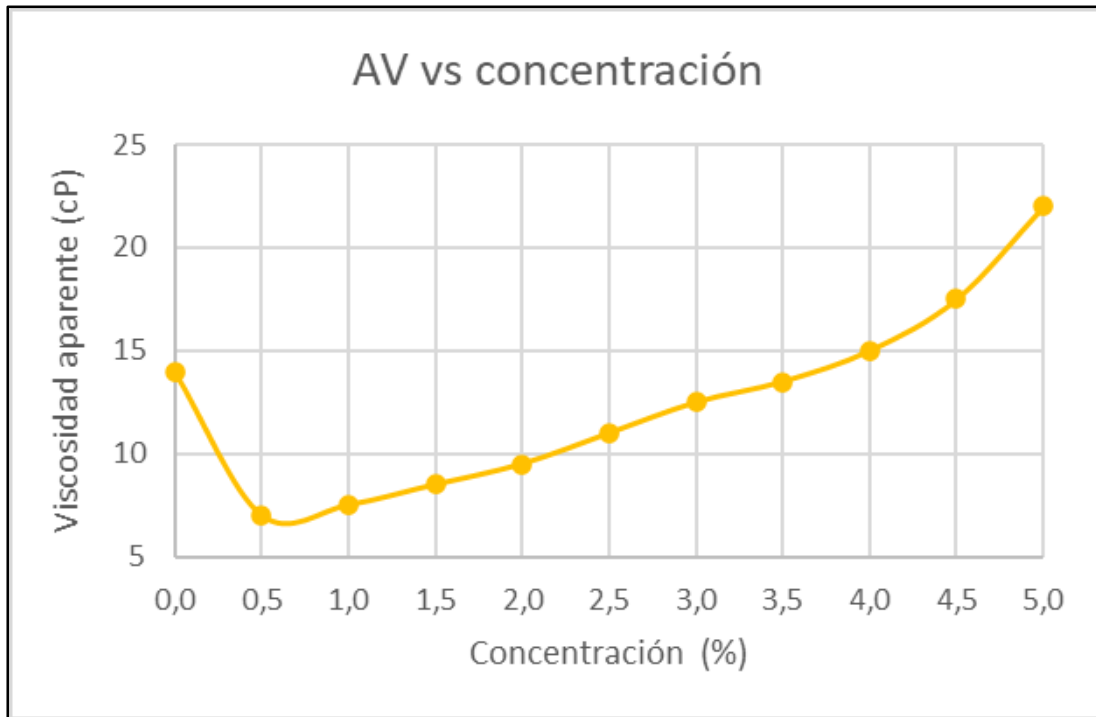
**Nota.** Gráfica punto cedente vs concentración desde los valores del lodo de referencia hasta el fluido con 5% m/v de la cáscara de naranja.

En esta gráfica se observa en primera instancia que el aditivo genera un gran descenso en el punto cedente que es equivalente a la mitad del valor obtenido en el lodo de referencia, posteriormente empieza a experimentar un incremento casi lineal de esta propiedad en donde se puede apreciar que en cuanto la concentración va aumentando la característica analizada también lo hace. Esto quiere decir que el primer efecto del polvo de la cáscara de naranja es neutralizar la interacción existente entre las cargas de los compuestos presentes en fluido y las arcillas, las causas de esto se explicaron previamente en el análisis de la gráfica anterior y en pocas palabras es causada por la presencia del catión potasio que contiene la cáscara de la naranja, pero. No obstante, con el incremento de la cantidad agregada la concentración de este ion va generando que las fuerzas de atracción e interacciones moleculares genera que sufran un breve crecimiento que también se ve afectada por el aditivo, la celulosa presente en la piel de la fruta base del aditivo estudiado.

La figura 43 representa la gráfica de la viscosidad aparente vs concentración con el uso del aditivo de cáscara de naranja.

**Figura 43.**

*Gráfica viscosidad aparente vs concentración (Naranja)*



**Nota.** Gráfica viscosidad aparente vs concentración desde los valores del lodo de referencia hasta el fluido con 5% m/v de la cáscara de naranja.

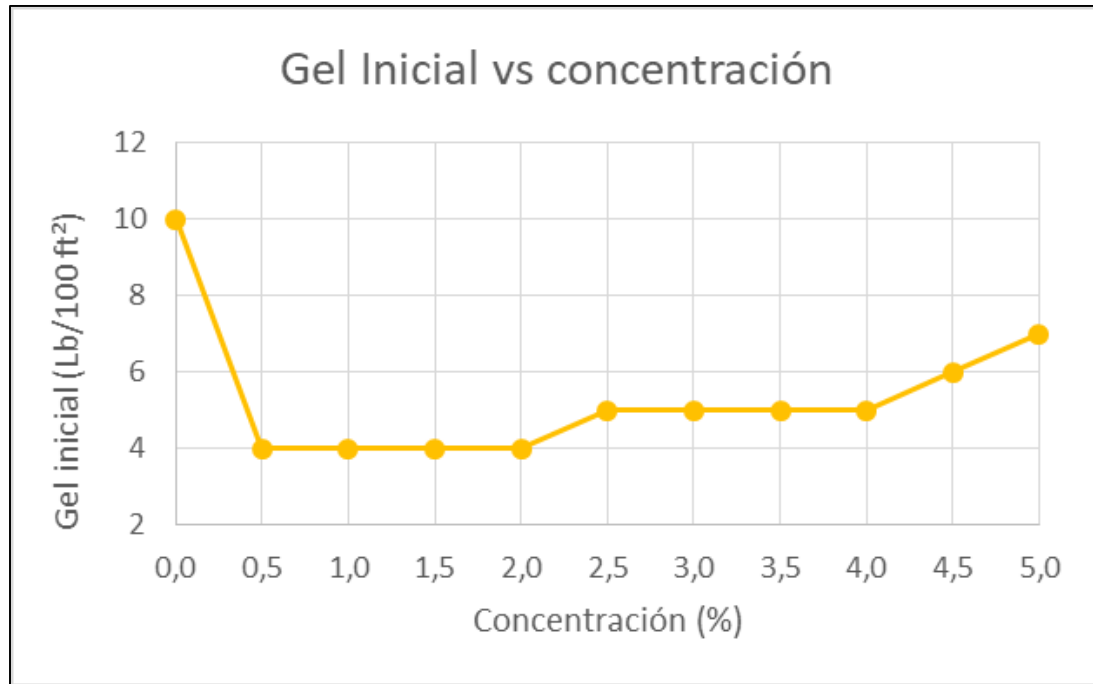
En esta ocasión la gráfica sigue una tendencia parecida a la mostrada en la anterior en el cual en el primer momento el efecto ocasionado con el aditivo es disminuir drásticamente la viscosidad aparente del fluido, posteriormente al incrementando la concentración del aditivo empieza a aumentar la presencia de sólidos presentes en el lodo haciendo que la viscosidad empiece a aumentar de a pocos casi de manera proporcional. En esta propiedad sucede la misma tendencia y fenómeno explicados en el análisis de la viscosidad plástica (figura 40) donde el primer efecto ocasionado por el aditivo que debido a sus características de diluyente y presencia del ion potasio en una reducción significativa de la viscosidad. Sin embargo, en una segunda instancia con el incremento en la concentración del aditivo el fluido empieza a sufrir un ligero incremento

en esta propiedad a causa del alto contenido de solidos que la cáscara de naranja genera al ser un material fibroso rico en glucosa que es el principal componente de la celulosa.

La figura 44 muestra la gráfica del gel inicial vs concentración cuando se utiliza el aditivo de cáscara de naranja.

**Figura 44.**

*Gráfica gel inicial vs concentración (Naranja)*



**Nota.** Gráfica gel inicial vs concentración desde los valores del lodo de referencia hasta el fluido con 5% m/v de la cáscara de naranja.

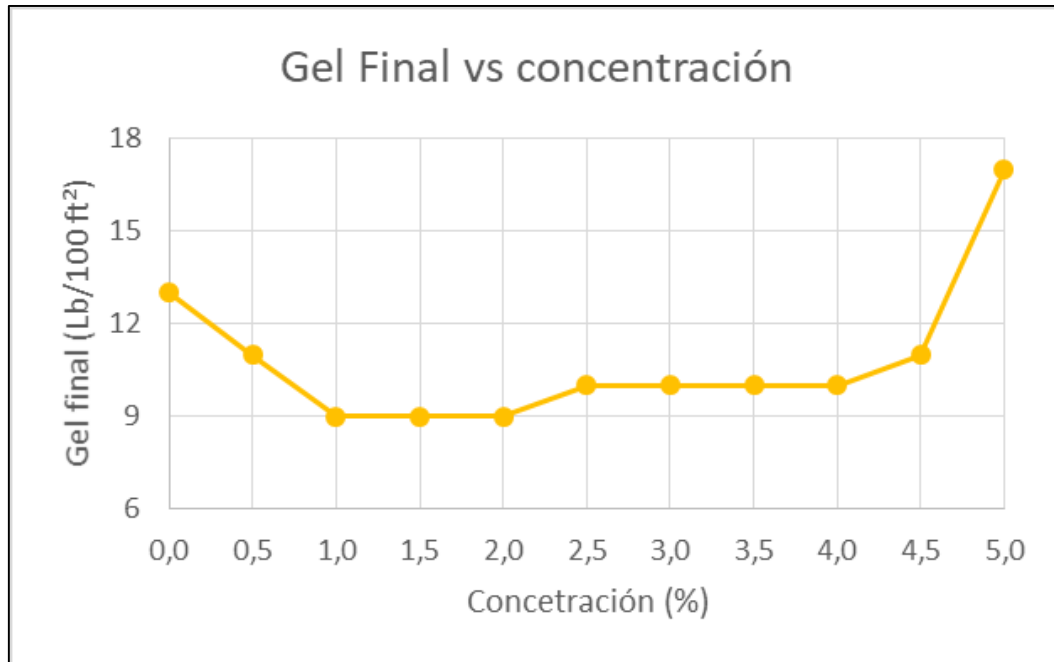
Se puede apreciar que el primer efecto producido por el aditivo es reducir de manera representativa el gel inicial y esta tendencia se mantiene constante desde la concentración del 0,5% hasta la del 2%, después esta propiedad experimenta un ligero aumento y manteniendo este valor de manera constante comenzando en la concentración de 2% y finalizando en la de 4%. Finalmente, una vez se sobrepasa el 4% se evidencia un crecimiento paulatino a medida que la cantidad del aditivo es mayor, este es casi lineal. Esta tendencia comportamiento se da por la celulosa que es formada a partir de la glucosa que contiene la cáscara de la naranja, que genera junto con las arcillas presentes en el fluido una estructura más consistente para que cuando el fluido

se encuentra estático adopte el comportamiento de un gel y pueda suspender los recortes correctamente.

La figura 45 es la gráfica del gel final vs concentración cuando se emplea el aditivo de cáscara de naranja.

**Figura 45.**

*Gráfica gel final vs concentración (Naranja)*



**Nota.** Gráfica gel final vs concentración desde los valores del lodo de referencia hasta el fluido con 5% m/v de la cáscara de naranja.

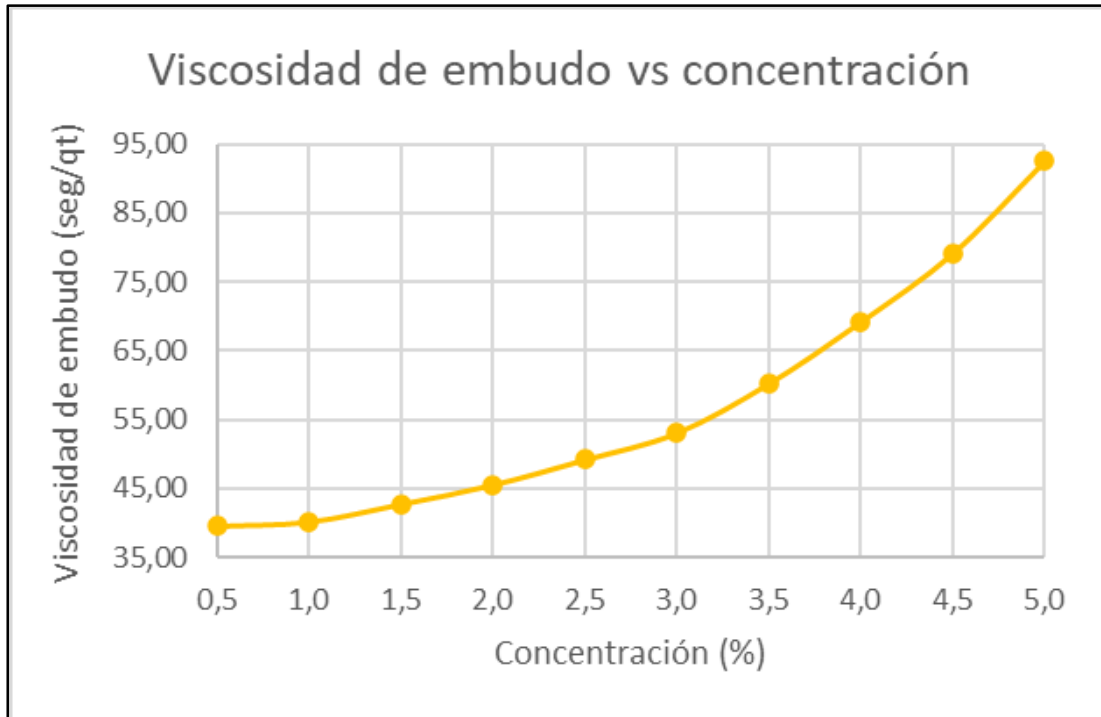
Esta grafica sigue una tendencia similar a la anterior, donde en las primeras concentraciones que son 0,5% y 1% se aprecia una disminución significativa del esfuerzo de gel final, posteriormente se mantiene un comportamiento constante desde el 1% hasta el 2% donde al aumentar la presencia del aditivo se experimenta un ligero incremento en esta propiedad el cual se mantiene constante partiendo del 2,5% y terminando en el 4%. Finalmente, después se evidencia que empieza a haber un aumento bastante brusco de este en los valores del 4,5% y el 5%. Esta tendencia y comportamiento se da por la celulosa que es formada a partir de la glucosa que contiene la cáscara de la naranja, que genera junto con las arcillas presentes en el fluido una estructura más consistente para

que cuando el fluido se encuentra estático adopte el comportamiento de un gel y pueda suspender los recortes correctamente.

La figura 46 se encuentra la viscosidad de embudo vs concentración cuando se usa el aditivo de cáscara de naranja.

**Figura 46.**

*Gráfica viscosidad de embudo vs concentración*



**Nota.** Gráfica viscosidad de embudo vs concentración desde los valores del fluido con 0,5% hasta el 5% m/v de la cáscara de naranja.

En esta figura se observa que el comportamiento que experimenta la viscosidad de embudo es exponencial respecto a la concentración de tal manera que, a mayor cantidad del aditivo, mayor va a ser el aumento generado en esta viscosidad. Es importante resaltar que esta grafica empieza en la concentración del 0,5% hasta el 5%, debido a que en el fluido base que corresponde al 0% el fluido es muy viscoso haciendo que esta medida no sea cuantificable puesto que se superan los 5 minutos. Finalmente, este comportamiento se da por el efecto como diluyente que presenta el aditivo al tener el catión potasio que interviene en las interacciones moleculares existentes, la medida de esta propiedad se va aumentando por la presencia de solidos provenientes de la cáscara

de la naranja que contiene glucosa que a su vez compone la celulosa que poco a poco va brindando viscosidad.

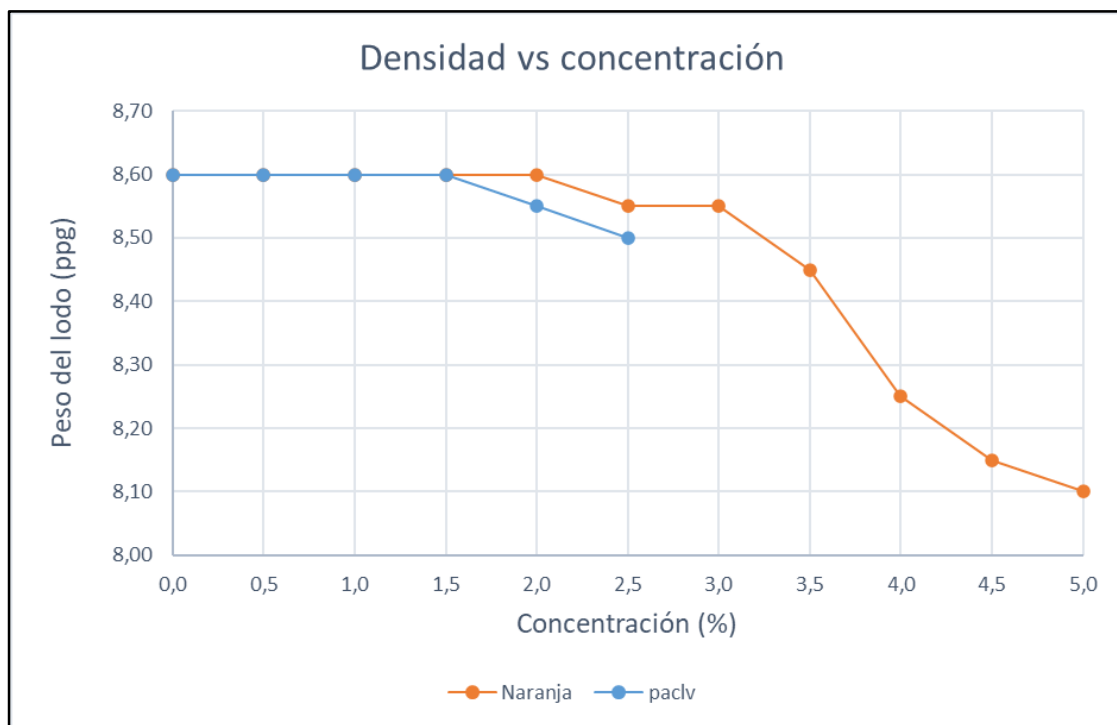
### 3.4.3 Gráficas lodos con polvo de cáscaras de naranja y lodos con PAC-LV

En esta sección se encuentran las gráficas de tendencias realizadas con los resultados de las propiedades físicas de los lodos formulados con el polvo de la cáscara de naranja y diseñados con la PAC-LV para tener una comparación visual del efecto de ambos aditivos con relación al fluido de referencia.

En la figura 47 se aprecia la gráfica construida usando el peso del lodo que se registra en ambos aditivos en diferentes concentraciones halladas de manera experimental en el laboratorio.

**Figura 47.**

*Gráfica peso del lodo con PAC-LV y con naranja vs concentración*



**Nota.** Gráfica del peso del lodo usando PAC-LV y el polvo de la cáscara de naranja vs concentración.

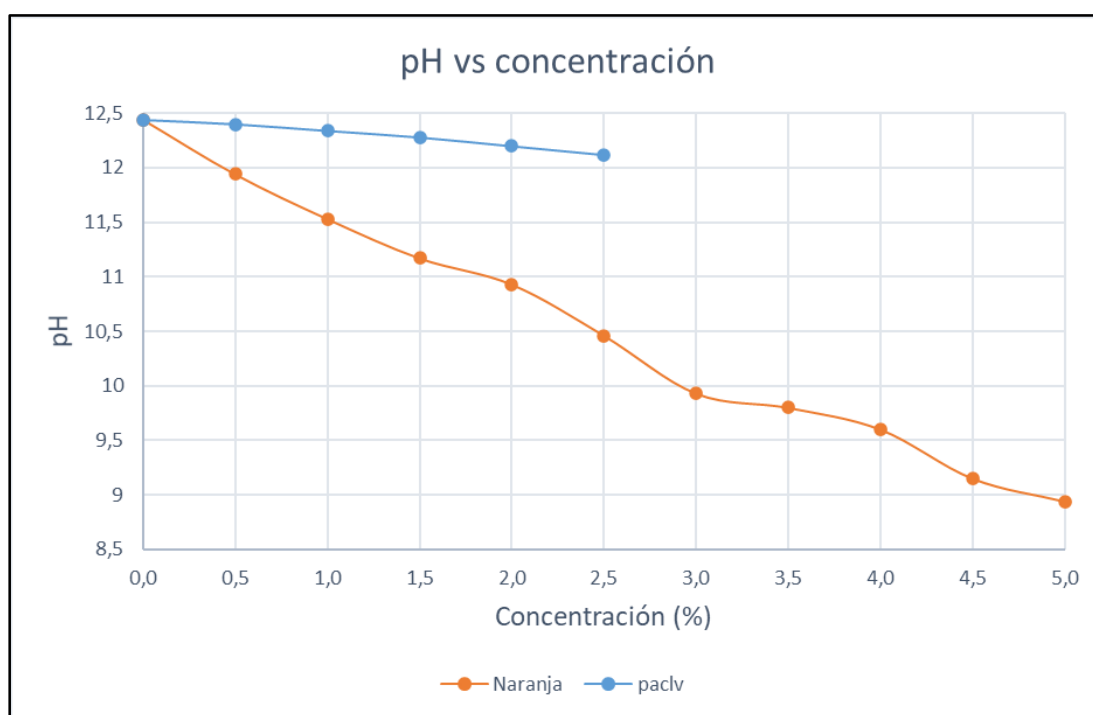
Al observar la figura es evidente que la PAC-LV genera un efecto de reducción del peso del lodo a una menor concentración que el de la cáscara de naranja. Ambas

disminuciones don generadas por efectos distintos la de la celulosa polianiónica es originada por el cambio de densidad generado por el hinchamiento del polímero el cual aumenta el volumen del fluido sin afectar la masa de este, el segundo por el aditivo orgánico biodegradable que actúa como un diluyente reduciendo el hinchamiento de las arcillas evitando su floculación y por la presencia de espuma que por su parte también afecta el peso o densidad del lodo.

En la figura 48 se evidencia la gráfica construida usando el pH obtenido en laboratorio haciendo uso de en ambos aditivos en diferentes concentraciones.

**Figura 48.**

*Gráfica pH lodo con PAC-LV y con naranja vs concentración*



**Nota.** Gráfica del pH registrado con la utilización del PAC-LV y el polvo de la cáscara de naranja vs concentración.

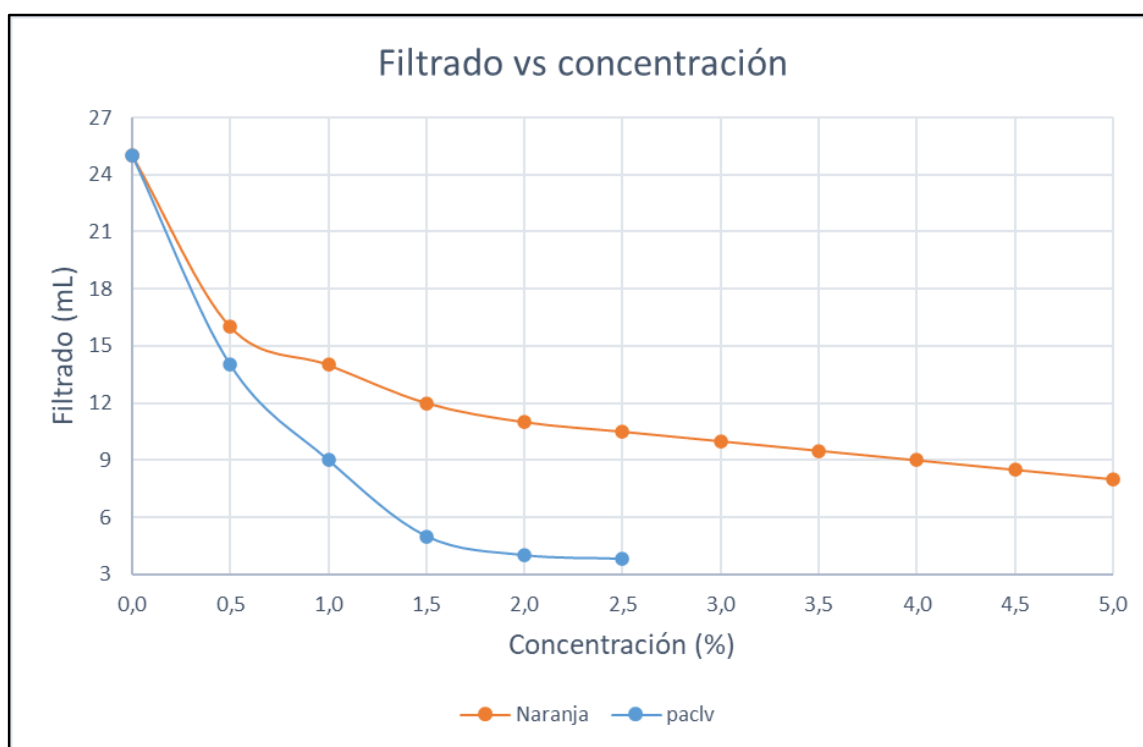
En esta figura es apreciable que el impacto que genera el aditivo fabricado a partir de las cáscaras de naranja en el pH del lodo es bastante significativo y de mayor magnitud mostrando una declinación más pronunciada que la producido por la celulosa polianiónica de baja viscosidad, el cual también genera una reducción de esta propiedad, pero en una proporción más pequeña. Ambas disminuciones son diferentes por los

diferentes componentes y grupos funcionales que los aditivos manejan, donde el polvo de la cáscara de naranja presenta una mayor cantidad de ácido en su composición el cual en su caso es el cítrico generado un efecto de reducción fuerte en el pH del fluido.

En la figura 49 muestra la gráfica construida usando los datos del filtrado conseguido durante las prácticas de laboratorio haciendo uso de en ambos aditivos en diferentes cantidades.

**Figura 49.**

*Gráfica filtrado lodo con PAC-LV y con naranja vs concentración*



**Nota.** Gráfica del filtrado registrado con la utilización del PAC-LV y el polvo de la cáscara de naranja vs concentración.

Observando esta figura se evidencia que en primera instancia ambos generan un merma del filtrado con valores bastante cercanos, no obstante una vez se sobrepasa el 0,5% la celulosa polianiónica ejerce un efecto más fuerte y efectivo en lo que se refiere en la reducción de esta propiedad y a medida que incrementa la concentración es más notorio dicha diferencia que es apreciable en la tendencia formada por ambos aditivos, también la forma de la gráfica del aditivo hecho a partir de la piel de la naranja presenta

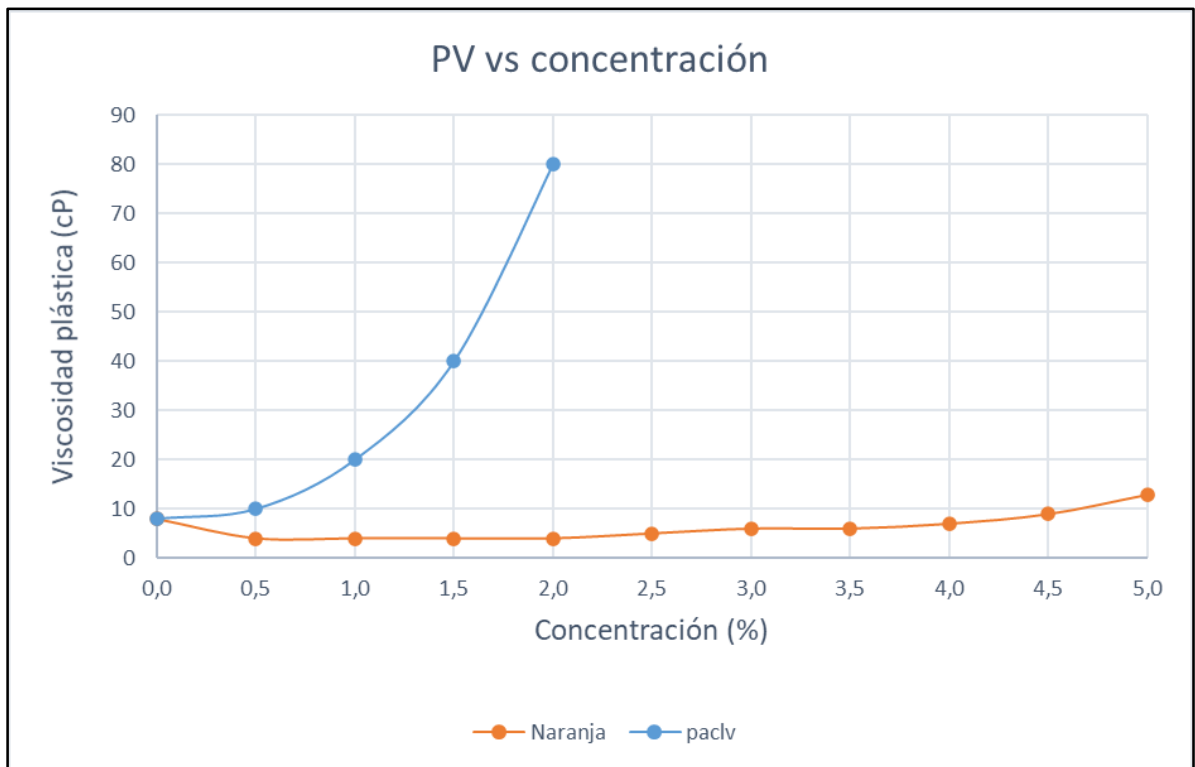


una disminución que es más lenta y no tan abrupta como la del otro. El comportamiento de ambos es diferente, la PAC-LV al ser un polímero modificado se adhiere más rápido a las arcillas ayudando en la formación de un revoque efectivo que genera una mejor merma del filtrado. Por otra parte, el aditivo orgánico biodegradable genera el control del filtrado por medio de los finos solidos obtenido de la cáscara de naranja que al ser un material fibroso rico en glucosa posee celulosa la cual ayuda a la obtención de un agente reductor de filtrado con la obtención de un revoque bien fino y consistente.

En la figura 50 se encuentra la gráfica generada con los valores de las viscosidades plásticas obtenidas en el laboratorio haciendo uso de en ambos aditivos en diferentes cantidades.

**Figura 50.**

*Gráfica viscosidad plástica lodo con PAC-LV y con naranja vs concentración*



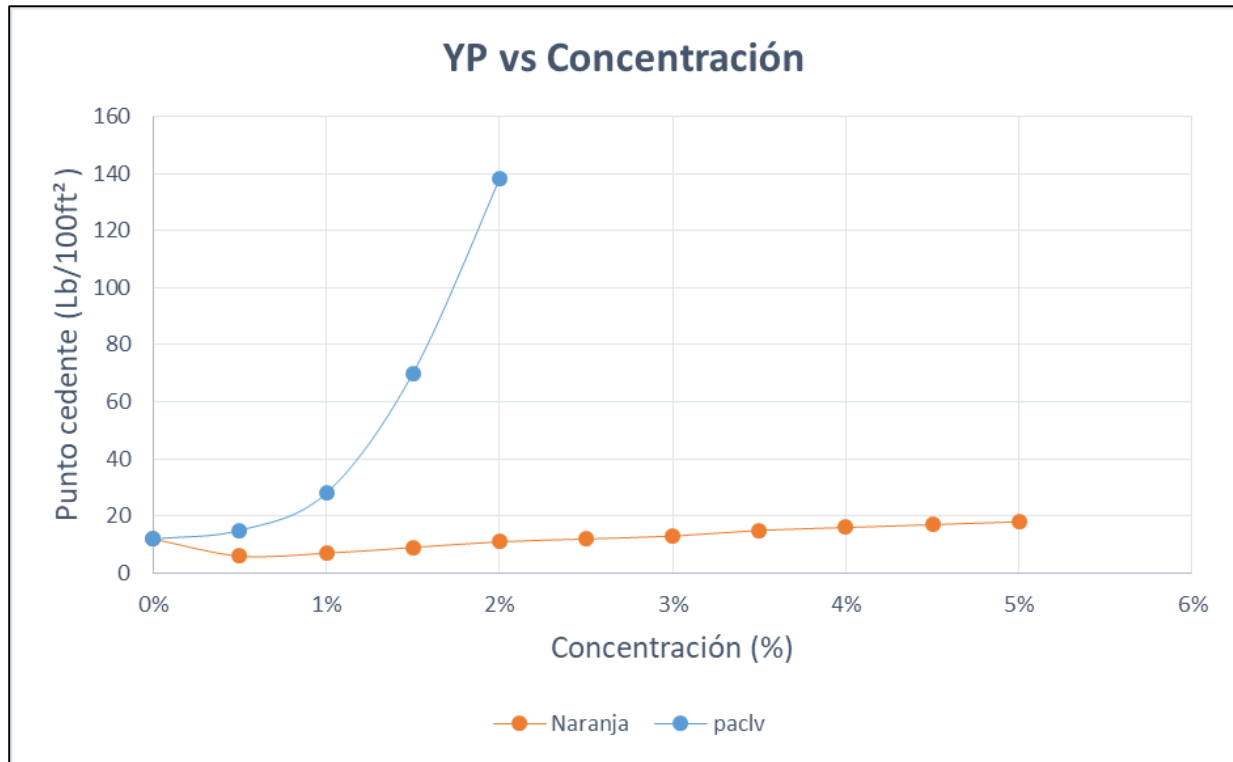
**Nota.** Gráfica de la viscosidad plástica con la utilización del PAC-LV y el polvo de la cáscara de naranja vs concentración.

En esta ocasión la gráfica muestra la gran diferencia existente en los efectos producidos por ambos aditivos en la viscosidad plástica, puesto que la celulosa polianiónica de baja viscosidad genera un aumento que a medida que la cantidad de este es mayor esta propiedad presenta valores cada vez más altos que se aprecia en la tendencia de la gráfica, mientras que el uso del polvo de las cáscaras de naranja genera un efecto diferente que se ve traducido en un reducción de esta propiedad que posteriormente mantiene valores iguales y muy cercanos para finalmente experimentar unos ligeros aumentos que no son comparables a los generados por la PAC-LV. Ambos comportamientos son totalmente diferentes y esto se debe a la naturaleza y composición de los aditivos. La celulosa polianiónica presenta un aumento mucho más pronunciado por causa de la estructura molecular del aditivo que a grandes concentraciones genera que los recubrimientos de agua que se producen alrededor de la cadena de polímero sean de pequeño tamaño haciendo que a mayor cantidad de este exista una disputa por la poca agua disponible que ocasiona una adherencia de los polímeros que se ve reflejado en un aumento de la viscosidad plástica. Por otro lado, el aditivo orgánico biodegradable trabaja como un defloculante que reduce la viscosidad plástica por la presencia de cationes de potasio presentes en la cáscara de la naranja que reaccionan con las moléculas que componen las estructuras de las arcillas creando enlaces fuertes que evitan y reducen su hinchamiento e hidratación, no obstante, este aditivo como es obtenido a partir de un material fibroso que posee celulosa al tener un gran contenido de glucosa presente en la piel de esta fruta que al ser convertido en aditivo produce un alto contenido de sólidos genera aumentos de la viscosidad a medida que su concentración es mayor.

En la figura 51 se encuentra la gráfica generada a partir de los datos de puntos cedentes halladas en el laboratorio haciendo uso de en ambos aditivos en diferentes cantidades.

**Figura 51.**

*Gráfica punto cedente lodo con PAC-LV y con naranja vs concentración*



**Nota.** Gráfica del punto cedente con la utilización del PAC-LV y el polvo de la cáscara de naranja vs concentración.

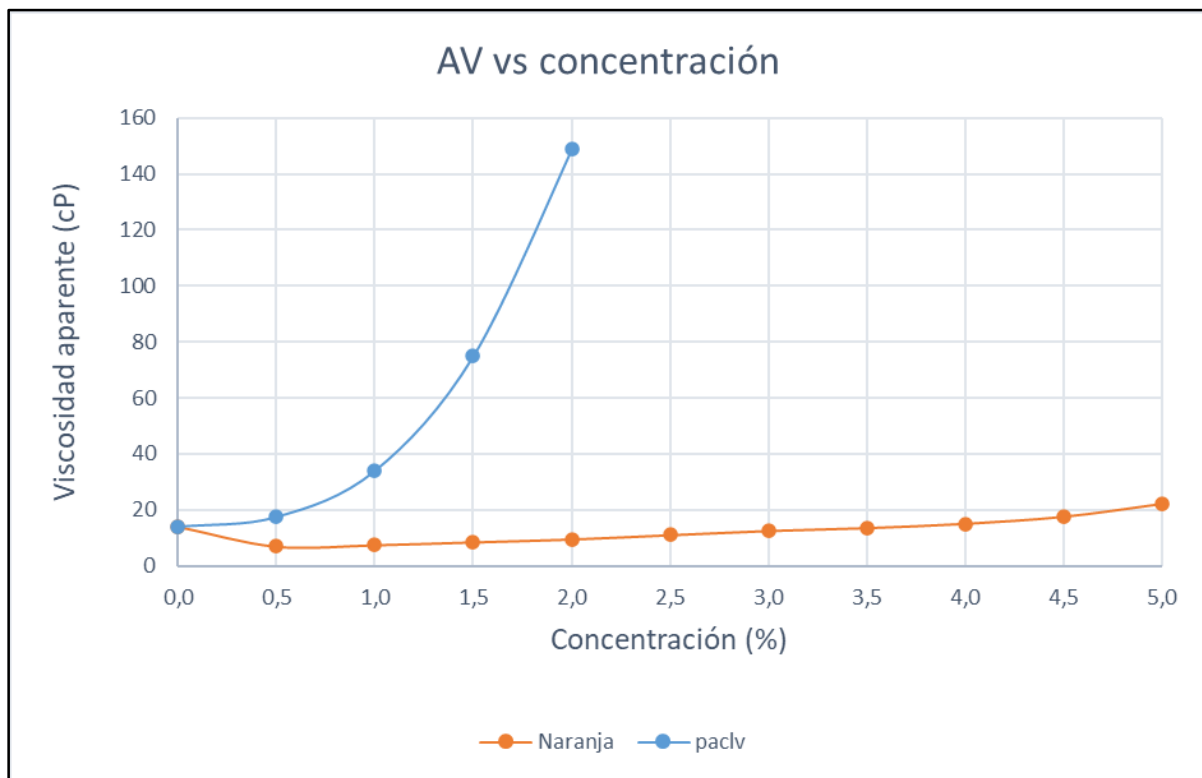
En esta grafica se aprecia la misma tendencia de la anterior figura en donde se evidencia que el efecto causado por ambos aditivos es totalmente diferente, el PAC-LV desde el comienzo genera un crecimiento que a medida que la concentración se hace mayor este incrementa de manera significativa, mientras que el aditivo orgánico biodegradable al inicio genera una reducción de esta propiedad y posteriormente genera un ligero aumento que no equiparable al producido por el primero. Las dos tendencias son generadas por fenómenos diferentes que experimentan los fluidos. El primero al contener la PAC-LV que es un aditivo hidrosoluble genera reacciones con el agua presente en el lodo haciendo que se creen recubrimientos de agua de gran tamaño que al aumentar la cantidad de aditivo se ven reducido aumentando la interacción molecular existente entre estos pequeños recubrimientos y el polímero. Por otra parte, el aditivo orgánico biodegradable en primer lugar por contener potasio genera una reducción en

las interacciones y atracciones moleculares de las arcillas evitando su floculación e hinchamiento, que posteriormente por la presencia de la celulosa creada de la glucosa presente en la cáscara de la naranja genera un ligero incremento en dichas interacciones moleculares.

En la figura 52 se encuentra la gráfica formada con base en de los valores de los puntos cedentes determinados en el laboratorio empleando ambos aditivos en diferentes cantidades.

**Figura 52.**

*Gráfica viscosidad aparente lodo con PAC-LV y con naranja vs concentración*



**Nota.** Gráfica de la viscosidad aparente con la utilización del PAC-LV y el polvo de la cáscara de naranja vs concentración.

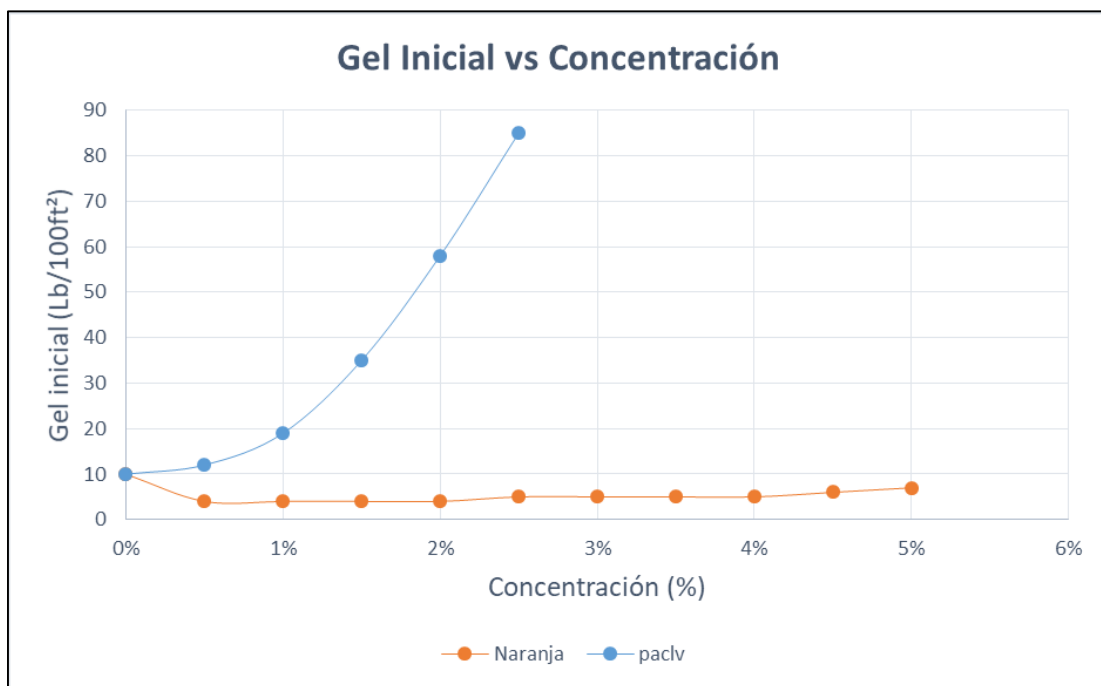
Esta gráfica presente la misma tendencia que las 2 figuras anteriores donde se evidenciaba que la celulosa polianiónica de baja viscosidad generaba un incremento de las propiedades reológicas que se ve disparado en magnitud en cuanto más alta fuera esa concentración. Por otra parte, el otro aditivo experimentaba en un primer momento la reducción de la viscosidad aparente y a medida que era mayor la presencia del polvo

de la cáscara de naranja esta propiedad iba creciendo de a poco mostrando una gran diferencia en las tendencias creadas por ambos productos. Ambas tendencias son diferentes y las causas de estas son las mismas que las explicadas previamente en la grafica de la viscosidad plástica (figura 51).

En la figura 53 está la gráfica realizada con los resultados obtenidos de los esfuerzos de gel inicial en el laboratorio al usar los dos aditivos en diferentes cantidades.

**Figura 53.**

*Gráfica gel inicial lodo con PAC-LV y con naranja vs concentración*



**Nota.** Gráfica del gel inicial con la utilización del PAC-LV y el polvo de la cáscara de naranja vs concentración.

En esta grafica como en las otras que componen el perfil reológico del fluido se muestra el mismo efecto y tendencia producida por los productos empleados en el diseño de los lodos de inicio, cuando se emplea el PAC-LV es evidenciable un aumento que a medida que incrementar la viscosidad genera un mayor efecto en esta propiedad haciendo que tome valores demasiado altos en relación con los obtenidos con el polvo de la piel de la naranja donde en primer lugar se produce una reducción de esta característica y posteriormente experimenta unos pequeños aumentos a

concentraciones demasiado altas, aunque su comportamiento es casi constante. Estas tendencias como se evidencian son bastantes diferentes y esto se debe a la composición e interacciones moleculares que generan en el lodo cada uno de los productos, el aditivo celulosa polianiónica al ser un aditivo modificado al reaccionar con el agua presente en el fluido y por el aumento de viscosidades producido por el incremento en la cantidad del aditivo obtiene cambios considerables en la viscosidad y en sus interacciones moleculares generado un enredo en las estructuras del polímero que al someterse a un estado estático adopta la forma y composición estructural de un gel que es mucho más fuerte que la originada por el potasio presente y la celulosa que hay en la cáscara de naranja.

Finalmente, en la figura 54 se encuentra gráfica realizada con los resultados conseguidos de los esfuerzos de gel final en el laboratorio al usar los dos aditivos en diferentes cantidades.

**Figura 54.**

*Gráfica gel final lodo con PAC-LV y con naranja vs concentración*



**Nota.** Gráfica del gel final con la utilización del PAC-LV y el polvo de la cáscara de naranja vs concentración.

En esta última grafica la tendencia no difiere en mucho con las anteriores figura de las propiedades que componen la reología del fluido, mostrando que el PAC-LV influencia desde el primer momento al gel final y conforme a la concentración de este es mayor esta propiedad aumenta su valor de manera significativa, mientras que el polvo de la cáscara de la naranja origina una ligera disminución de esta y consiguiendo valores muy próximos que hacen parecen que la tendencia formada por el aumento en la cantidad del aditivo es mínimo logrando un pequeños incrementos en relación a producidos por la celulosa polianiónica de baja viscosidad. Estas tendencias como se evidencian son bastantes diferentes y esto se debe a la composición e interacciones moleculares que generan en el lodo cada uno de los productos, el aditivo celulosa polianiónica al ser un aditivo modificado al reaccionar con el agua presente en el fluido y por el aumento de viscosidades producido por el incremento en la cantidad del aditivo obtiene cambios considerables en la viscosidad y en sus interacciones moleculares generado un enredo en las estructuras del polímero que al someterse a un estado estático adopta la forma y composición estructural de un gel que es mucho más fuerte que la originada por el potasio presente y la celulosa que hay en la cáscara de naranja.

#### 4. CONCLUSIONES

El aditivo orgánico biodegradable obtenido a partir de cascaras de naranja es adecuado en la formulación de un lodo de inicio base agua para el control del filtrado y mejora de la reología, cuyas concentraciones optimas se encuentran entre el 2.5% y el 3% m/v, puesto que mejora las características ya mencionadas sin afectar drásticamente los parámetros de operabilidad de las demás propiedades fisicoquímicas.

La celulosa polianiónica de baja viscosidad es un excelente controlador de filtrado logrando reducciones entre 44% al 84% respecto al filtrado original obtenido en el fluido base en concentraciones que van del 0,5% al 2,5% m/v. No obstante, el efecto que genera en concentraciones mayores al 0,5% en las propiedades reológicas como los esfuerzos de gel inicial y final, el punto cedente, la viscosidad plástica, la viscosidad aparente y la viscosidad de embudo es bastante negativo debido a que al ser un polímero de origen sintético que genera interacciones moleculares fuertes con el agua y las arcillas presentes en el fluido que producen un gran aumento en los valores de las características ya mencionadas.

El aditivo orgánico biodegradable sirve como diluyente en concentraciones que están entre el 0,5% y el 4%, debido a que genera una reducción de las interacciones moleculares que se originan entre las arcillas del fluido por la presencia del ion potasio, haciendo que las propiedades que componen el perfil reológico como viscosidad plástica, punto cedente, esfuerzos de gel inicial y final, viscosidad aparente y viscosidad de embudo, experimenten reducciones que cumplen con los criterios y valores de operación de un lodo de inicio base agua si se toman como referencia estas características.

Se evidenció que el revoque formado con el aditivo orgánico biodegradable es más fino, firme y consistente, esto hace que sea de mejor calidad, debido a que su grosor fue de 0,07874 pulgadas cuyo valor se acerca más a 0,03135 pulgadas (1/32), que el conseguido con el aditivo convencional PAC-LV que presento un tamaño más grueso y una consistencia menos firme que obtuvo un espesor de 0,098425 pulgadas, esto quiere decir que el aditivo hecho de las cáscaras de naranja es más confiable a la hora de querer evitar posibles pegas diferenciales durante la perforación ya que forma un mejor sello en las formaciones permeables.



Se aprecia que el aditivo orgánico biodegradable puede ser empleado como un buen reductor de pH, debido a que genera reducciones de esta propiedad que oscilan entre el 4% y el 28% del pH original del fluido base cuando se utilizan concentraciones del 0,5% hasta el 5% m/v, estas disminuciones son producidas por la presencia de ácidos en la cáscara de naranja que reduce el carácter básico del lodo.

El aditivo orgánico biodegradable al ser utilizado en el diseño de lodos a diversas concentraciones genero un aumento en el contenido de solidos de baja gravedad especificas haciendo que a mayor concentración de este mayor fuera la magnitud de esta propiedad, esto se produjo porque la cáscara de naranja al ser un material fibroso que fue tamizado con una malla de 355 mesh para la obtención del polvo hizo que el aditivo tuviera un tamaño de sólidos mayor al medido en la prueba del contenido de solidos o de arena en la cual se emplea una malla de 200 mesh, esto ocasiono dicho incremento en el valor de esta propiedad.

Al emplear el polvo de la cáscara de naranja en grandes cantidades que excedan el 3% se empieza a generar una gran cantidad de espuma que puede generar problemas en los procesos de perforación, debido a que puede generar problemas de funcionamiento en las bombas de lodo.

El aditivo del polvo de la cáscara de naranja al ser un diluyente opera en la viscosidad y reología del fluido sin afectar el peso del lodo hasta una concentración del 2,5% donde después de dicha concentración empieza a generar una disminución de dicha propiedad, la cual se vuelve más notoria y fuerte cuando se emplean cantidades por arriba del 3%.

Por la naturaleza del aditivo, la PAC-LV al ser un polímero natural modificado es más estable térmicamente por su estructura molecular que el polvo de la cáscara de naranja que es más sensible a la degradación térmica o bacteriana al ser un polímero natural.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] R.W. Scora, J. Kumamoto, R.+K. Soost, E.M. Nauer, "Contribution to the Origin of the Grapefruit, *Citrus paradisi* (Rutaceae)", *Systematic Botany*, vol. 7, no. 2, pp 170-177, jun 1982, doi: 10.2307/2418325. [Acceso: agosto 21, 2020]. [2] A. Taleb *et al*, "SPE-195410-MS Environmental Friendly Drilling Fluid Additives: Can Food Waste Products be Used as Thinners and Fluid Loss Control Agents for Drilling Fluid?" *The SPE Symposium: Asia Pacific Health, Safety, Security, Environment and Social Responsibility*,
- [2] A. Taleb *et al*, "SPE-195410-MS Environmental Friendly Drilling Fluid Additives: Can Food Waste Products be Used as Thinners and Fluid Loss Control Agents for Drilling Fluid?" *The SPE Symposium: Asia Pacific Health, Safety, Security, Environment and Social Responsibility*, .
- [3] A.T. Al-Hameedi *et al* "Controlling Drilling Fluid Properties Using Bio-Degradable Environmental Friendly Additives: Comparison between Conventional Chemical (PAC-LV) and Eco-Friendly Drilling Fluid Additives", in 2019, Disponible: <https://www.onepetro.org/conference-paper/ARMA-2019-0512>. [Acceso: agosto 20, 2020]
- [4] Schlumberger, "The Defining Series, *Drilling Fluid Basics*", 3, enero, 2013, [en línea]. Disponible en: <https://www.slb.com/resource-library/oilfield-review/defining-series/defining-drilling-fluids>. [Acceso: agosto 25,2020].
- [5] *Manual de Fluidos de Perforación*, Instituto Americano del Petróleo, Dallas, Texas, 2001.
- [6] *Fluidos de Perforación*, Petróleos de Venezuela S.A., Caracas Venezuela, 2002.
- [7] *Recommended Practice for Field Testing Water-based Drilling Fluids API 13 B-1 (Norma ISO 10414)*, Instituto Americano Del Petróleo API 13 B-1, Washington D.C.
- [8] Schlumberger, "Bentonita", Oilfield Glossary, [En línea], <https://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/b/bentonite.aspx>. [Acceso: 31, agosto, 2020].

- [9] Schlumberger, “Soda cáustica”, Oilfield Glossary, [En línea], [https://www.glossary.oilfield.slb.com/Terms/c/caustic\\_soda.aspx](https://www.glossary.oilfield.slb.com/Terms/c/caustic_soda.aspx). [Acceso: 31, agosto, 2020].
- [10] IRO perforaciones petrolíferas químicas Co., Ltd. “La celulosa polianiónica (PAC)”. [En línea]. <https://www.irooildrilling.com/span/products/pac/>. [Acceso: 31, agosto, 2020].
- [11] Paradais Sphynx. “Naranja, características, variedades, propiedades y beneficios. Naranja, árbol”. [En línea]. <https://naturaleza.paradais-sphynx.com/plantas/tipos-de-frutas/naranja-tipos-beneficios-naranja-arbol.htm#:~:text=La%20naranja%20es%20un%20hesperidio,de%20su%20contenido%20es%20agua.> [Acceso: 31, agosto, 2020].
- [12] Naranja Ribera del Júcar. *Composición de la naranja*. [En línea]. [https://naranjasriberadeljucar.com/blog/composicion-de-la-naranja/#:~:text=\\*\\*Hidratos%20de%20carbono\(10,\)%2C%20I%C3%ADpidos\(26\).&text=Son%20los%20componentes%20m%C3%A1s%20abundantes%20en%20la%20naranja](https://naranjasriberadeljucar.com/blog/composicion-de-la-naranja/#:~:text=**Hidratos%20de%20carbono(10,)%2C%20I%C3%ADpidos(26).&text=Son%20los%20componentes%20m%C3%A1s%20abundantes%20en%20la%20naranja). [Acceso: 31, agosto, 2020]

## **ANEXO 1.**

### **RECOMENDACIONES**

Si se desea emplear el aditivo PAC-LV como un agente controlador de filtrado es mejor usarlo en pequeñas cantidades que sea menores a concentraciones del 1% m/v así se evita afectar de manera drástica las propiedades reológicas del fluido.

Cuando se emplean grandes cantidades del aditivo orgánico biodegradable para el diseño y preparación de fluidos base agua llega a formar espuma, haciendo que pruebas como el peso del lodo se vean afectadas y sea más difícil realizar una medición precisa. Por tal motivo, se recomienda eliminar esta espuma manualmente o tomar en consideración el uso de algún un antiespumante que no afecte las propiedades fisicoquímicas del lodo formulado.

En la fabricación del aditivo orgánico biodegradable hecha a partir de las cáscaras de la naranja se pasa por un proceso de tamizado, teniendo en cuenta que los valores obtenidos en el contenido de arena fueron demasiado altos, se aconseja el uso de mallas más finas que tengan un tamaño igual o menor a 200 mesh durante este proceso para la obtención de un producto con sólidos más finos para así evitar un aumento significativo en esta propiedad y poder obtener un aditivo de mejor calidad.

No es aconsejable el uso del aditivo PAC-LV cuando se tiene una formulación de un fluido con pH por encima de 12, es más se recomienda que este se encuentre por debajo de 10 para así poder sacar un mayor provecho de las propiedades filtrantes de este aditivo y no ver reflejado de manera tan abrupta un aumento en la reología de este.