

**EVALUACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN DE MALLAS PIRAMIDALES  
PLUS EN SHAKERS DERRICK EN LA PERFORACIÓN DE DOS POZOS EN LA  
CUENCA DEL PUTUMAYO CON FLUIDO BASE ACEITE**

**JULIAN ANDRES PARRA ORTIZ  
MIGUEL MATEO RAMIREZ MAYORGA**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
BOGOTA D.C  
2020**

**EVALUACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN DE MALLAS PIRAMIDALES  
PLUS EN SHAKERS DERRICK EN LA PERFORACIÓN DE DOS POZOS EN LA  
CUENCA DEL PUTUMAYO CON FLUIDO BASE ACEITE**

**JULIAN ANDRES PARRA ORTIZ  
MIGUEL MATEO RAMIREZ MAYORGA**

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

**Director  
LUIS E. ZORRILLA AHUMADA  
Ingeniero Industrial**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
BOGOTA D.C  
2020**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Presidente del jurado  
Ing.

---

Jurado 1  
Ing.

---

Jurado 2  
Ing.

Bogotá D.C agosto de 2020

---

## **DIRECTIVAS 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. MARÍA CLAUDIA APONTE GÓNZALES**

Vicerrector Administrativo y Financiero

**Dr. RICARDO ALFONSO PEÑARANADA CASTRO**

Secretaria General

**Dra. ALEXANDRA MEJÍA GUZMÁN**

Decano Facultad de Ingeniería

**Dr. JULIO CESAR FUENTES ARISMENDI**

Director de Investigaciones

**Dr. LUIS FERNANDO SÁNCHEZ HUERTAS**

Director del Programa de Ingeniería de Petróleos

**Ing. JUAN CARLOS RODRIGUEZ ESPARZA**

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

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan su agradecimiento a la FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA, por la formación intelectual y ética, que fue el pilar principal para desarrollar este proyecto.

A la empresa RAMDE SOLIDS CONTROL S.A.S., por brindarnos la oportunidad de trabajar con ellos y darnos la confianza para llevar a cabo este proyecto con su información, especialmente al Ingeniero LUIS E. ZORRILLA AHUMADA y al Ingeniero DANIEL DUEÑAS, por su ayuda incondicional y acompañamiento durante todo el proyecto.

A la Ingeniera YATNIELAH PIRELA por su dedicación, orientación y compromiso para que este proyecto se realizara de la mejor manera posible.

A todos los profesores que nos acompañaron durante la realización de este proyecto y que nos ofrecieron todo su conocimiento y opinión desde el primer día para hacer de este un mejor trabajo.

A cada docente presente en nuestra etapa en la Universidad, por brindarnos sus conocimientos y su mejor esfuerzo por formarnos no solo como Ingenieros si no como profesionales íntegros.

Sin desconocer a las muchas personas que de manera directa o indirecta nos brindaron su colaboración.

A todos ellos, nuestro reconocimiento y admiración.

## DEDICATORIA

*Primeramente, a mi mamá, mi papá y mi hermano, por siempre haber estado para mí en cada etapa de mi vida y más ahora en este paso tan importante, porque juntos hemos crecido y aprendido con el paso de los años y porque a pesar de que no estemos siempre juntos, siempre vamos a ser una familia.*

*A mi tío, por haberme brindado todo ese apoyo incondicional en los peores y los mejores momentos durante estos años, y haberme permitido finalizar mi carrera profesional, porque este es solo el primero de muchos escalones más que aún están por venir.*

*A mi compañero Mateo Ramírez, por su compromiso con este proyecto y por estar ahí para hacerlo siempre mejor.*

*Por último y no menos importante, dedico esto a mis amigos, porque durante todos estos años de cosas buenas o malas, siempre estuvimos ahí hasta el último momento e hicimos de esta etapa algo inolvidable.*

*JULIAN PARRA*

## DEDICATORIA

*A Dios quien ha sido guía, fortaleza y su mano de fidelidad y amor han estado conmigo hasta el día de hoy.*

*A mis padres quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades.*

*A mis hermanos por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias. A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.*

*A mi compañero Julián Parra por su total entrega a este proyecto, por su paciencia y su esfuerzo constante.*

*Finalmente, dedico esto a mis amigos, por brindarme su amistad incondicional en esta etapa de mi vida, marcándola con buenos recuerdos.*

MATEO RAMIREZ

## CONTENIDO

	pág.
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>21</b>
<b>1.MARCO TEÓRICO</b>	<b>23</b>
<b>1.1 SÓLIDOS</b>	<b>23</b>
1.1.1 Sólidos de baja gravedad específica.	23
1.1.2 Sólidos de alta gravedad específica.	24
<b>1.2 CONTROL DE SÓLIDOS</b>	<b>24</b>
1.2.1. Zaranda vibratoria.	25
1.2.1.1 Malla.	25
1.2.1.2 Principales propiedades de las mallas.	27
1.2.1.3 Zaranda derrick FLC 503 flo-line® cleaner.	28
1.2.1.4 Componentes.	29
1.2.2 Hidrociclón.	30
1.2.3 Desarenador.	30
1.2.4 Deslimador.	31
1.2.5 Centrífuga.	31
<b>1.3 CIRCULACIÓN DEL LODO Y ELIMINACIÓN DE SÓLIDOS</b>	<b>32</b>
<b>1.4 FLUIDO DE PERFORACION O LODO</b>	<b>36</b>
1.4.1 Lodo base aceite.	37
1.4.2 Lodos de emulsión invertida.	37
1.4.3 Lodos de aceite.	37
<b>1.5 PRUEBAS PARA EVALUAR EL DESEMPEÑO DE LAS MALLAS EN LAS ZARANDAS DERRICK FLC 503 FLO-LINE CLEANER</b>	<b>37</b>
1.5.1 Prueba de densidad del fluido.	37
1.5.2 Prueba de contenido de líquidos y sólidos o retorta.	38
1.5.3 Prueba de tamiz del fluido.	38
<b>2. METODOLOGÍA Y DATOS</b>	<b>39</b>
<b>2.1 DIAGRAMA DE FLUJO</b>	<b>39</b>
<b>2.2 CARACTERIZACION DEL FUNCIONAMIENTO DE LA ZARANDA FLC 503 Y LAS MALLAS</b>	<b>40</b>
2.2.1 Toma de muestras.	42
<b>2.3 IMPLEMENTAR Y EVALUAR EL DESEMPEÑOS DE LAS MALLAS PLANAS Y DE LAS MALLAS PIRAMIDALES PLUS</b>	<b>42</b>
2.3.1 Pruebas.	42
2.3.1.1 Retorta.	43
2.3.1.2 Densidad del fluido de perforación.	43
2.3.1.3 Tamiz del fluido.	44
<b>2.4 COMPARACION DEL DESEMPEÑO TECNICO Y FINANCIERO DE LAS MALLAS.</b>	<b>44</b>

2.4.1	Análisis técnico.	44
2.4.2	Análisis financiero.	45
<b>3</b>	<b>RESULTADOS Y ANÁLISIS</b>	<b>48</b>
<b>3.1</b>	<b>IMPLEMENTACIÓN Y DESEMPEÑO DE LAS MALLAS PLANAS DURANTE LA PERFORACIÓN DE DOS POZOS EN LA CUENCA DEL PUTUMAYO</b>	<b>48</b>
3.1.1	Toma de muestras en el primer pozo.	48
3.1.2	Pruebas y resultados del primer pozo.	48
3.1.2.1	Porcentaje de humedad en los recortes.	48
3.1.2.2	Área de secado.	50
3.1.2.3	Densidad del fluido de perforación.	50
3.1.2.4	Eficiencia de la remoción de sólidos.	52
3.1.3	Mallas utilizadas en el pozo 1.	53
3.1.4	Toma de muestras en el segundo pozo.	53
3.1.5	Pruebas y resultados del pozo 2.	54
3.1.5.1	Porcentaje de humedad en los recortes.	54
3.1.5.2	Área de secado.	55
3.1.5.3	Densidad del fluido de perforación.	56
3.1.5.4	Eficiencia de la remoción de sólidos.	57
3.1.6	Mallas utilizadas.	58
<b>3.2</b>	<b>IMPLEMENTACIÓN Y DESEMPEÑO DE LAS MALLAS PIRAMIDALES PLUS DURANTE LA PERFORACIÓN DE DOS POZOS EN LA CUENCA DEL PUTUMAYO</b>	<b>59</b>
3.2.1	Toma de muestras en el tercer pozo.	59
3.2.2	Pruebas y resultados en el tercer pozo.	60
3.2.2.1	Porcentaje de humedad en los recortes.	60
3.2.2.2	Área de secado.	62
3.2.2.3	Densidad del fluido de perforación.	62
3.2.2.4	Eficiencia de la remoción de sólidos.	63
3.2.3	Mallas utilizadas.	65
3.2.4	Toma de muestras en el pozo 4.	65
3.2.5	Pruebas y resultados en el pozo 4.	65
3.2.5.1	Porcentaje de humedad en los recortes.	65
3.2.5.2	Área de secado.	67
3.2.5.3	Peso del fluido de perforación.	67
3.2.5.4	Eficiencia de la remoción de sólidos.	69
3.2.6	Mallas utilizadas.	70
<b>3.3</b>	<b>ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE LAS MALLAS PIRAMIDALES PLUS VERSUS LAS MALLAS PLANAS IMPLEMENTADAS.</b>	<b>71</b>
3.3.1	Porcentaje de humedad presente en las muestras tomadas.	71
3.3.2	Porcentaje de agua presente en las muestras tomadas.	73
3.3.3	Porcentaje de aceite presente en las muestras tomadas.	74
3.3.4	Porcentaje de sólidos presente en las muestras tomadas.	76
3.3.5	Porcentaje de área de secado en las muestras tomadas.	78

3.3.6	Variación de la densidad en las muestras tomadas.	79
3.3.7	Eficiencia de remoción de sólidos de las mallas.	81
3.3.8	Cantidad de mallas implementadas en cada pozo.	83
<b>3.4</b>	<b>RESULTADOS DEL ANALISIS FINANCIERO.</b>	<b>84</b>
3.4.1	Costos operativos.	85
3.4.2	Escenarios financieros.	86
3.4.2.1	Escenario 1.	86
3.4.2.2	Escenario 2.	87
3.4.2.3	Escenario 3.	87
3.4.2.4	Escenario 4.	88
3.4.3	Análisis financiero.	88
3.4.4	Flujo de caja.	89
3.4.4.1	Escenario 1.	89
3.4.4.2	Escenario 2.	90
3.4.4.3	Escenario 3.	90
3.4.4.4	Escenario 4.	91
3.4.5	Tasa interna de retorno.	91
<b>4</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>93</b>
<b>5</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>95</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>96</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>98</b>

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
<b>Figura 1.</b> Malla Plana Derrick.	26
<b>Figura 2.</b> Malla piramidal Derrick.	26
<b>Figura 3.</b> Malla Plana	27
<b>Figura 4.</b> Malla Piramidal Plus Derrick.	27
<b>Figura 5.</b> Zaranda Derrick FLC 503 Flo-Line Cleaner	28
<b>Figura 6.</b> Componentes de Zaranda Derrick FLC 503 Flo-Line Cleaner	30
<b>Figura 7.</b> Comparación grafica entre desarenador deslimador y microociclón.	31
<b>Figura 8.</b> Centrífuga decantadora de perfil.	32
<b>Figura 9.</b> Bombas del sistema de circulación.	33
<b>Figura 10.</b> Sistema de circulación en la torre de perforación.	34
<b>Figura 11.</b> Sistema de circulación del lodo dentro del pozo.	35
<b>Figura 12.</b> Sistema de circulación de lodo	36
<b>Figura 13.</b> Procedimiento de la prueba de retorta	43
<b>Figura 14.</b> Procedimiento de la prueba de densidad del fluido.	43
<b>Figura 15.</b> Procedimiento de la prueba de tamiz.	44

## LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
<b>Gráfica 1.</b> Porcentaje de humedad promedio a partir de la prueba de retorta para la sección de 8 ½” de los cuatro pozos perforados.	72
<b>Gráfica 2.</b> Porcentaje de humedad promedio a partir de la prueba de retorta para la sección de 8 ½” de los cuatro pozos perforados.	72
<b>Gráfica 3.</b> Porcentaje de agua promedio reportado en la prueba de retorta para la sección de 12 ¼” de los cuatro pozos perforados.	73
<b>Gráfica 4.</b> Porcentaje de agua promedio reportado en la prueba de retorta para la sección de 8 ½” de los cuatro pozos perforados.	74
<b>Gráfica 5.</b> Porcentaje de aceite promedio reportado en la prueba de retorta para la sección de 12 ¼” de los cuatro pozos perforados.	75
<b>Gráfica 6.</b> Porcentaje de aceite promedio reportado en la prueba de retorta para la sección de 8 ½” de los cuatro pozos perforados.	75
<b>Gráfica 7.</b> Porcentaje de sólidos presentes promedio reportado en la prueba de retorta para la sección de 12 ¼” de los cuatro pozos perforados.	76
<b>Gráfica 8.</b> Porcentaje de sólidos presentes promedio reportado en la prueba de retorta para la sección de 8 ½” de los cuatro pozos perforados.	77
<b>Gráfica 9.</b> Porcentaje de área de secado promedio reportado en la prueba de retorta para la sección de 12 ¼” de los cuatro pozos perforados.	78
<b>Gráfica 10.</b> Porcentaje de área de secado promedio reportado en la prueba de retorta para la sección de 8 ½” de los cuatro pozos perforados.	79
<b>Gráfica 11.</b> Variación de la densidad reportada en la prueba de peso del lodo para la sección de 12 ¼” de los cuatro pozos perforados.	80
<b>Gráfica 12.</b> Variación de la densidad reportada en la prueba de peso del lodo para la sección de 8 ½” de los cuatro pozos perforados.	80
<b>Gráfica 13.</b> Eficiencia de remoción de sólidos promedio en la sección de 12 ¼”.	82
<b>Gráfica 14.</b> Eficiencia de remoción de sólidos promedio en la sección de 8 ½”.	82
<b>Gráfica 15.</b> Cantidad de mallas implementadas para perforar cada sección de 12 ¼” en los pozos del proyecto.	83
<b>Gráfica 16.</b> Cantidad de mallas implementadas para perforar cada sección de 8 ½” en los pozos del proyecto.	84

## LISTA DE TABLAS

	pág.
<b>Tabla 1.</b> Información técnica de las zarandas FLC 503 implementadas en el pozo 1 perforado implementando mallas planas.	40
<b>Tabla 2.</b> Datos operacionales de las zarandas FLC 503 en cada sección perforada del pozo 1 implementando mallas planas.	41
<b>Tabla 3.</b> Información técnica de las zarandas FLC 503 implementadas en el pozo 2 perforado implementando mallas planas.	41
<b>Tabla 4.</b> Datos operacionales de las zarandas FLC 503 en cada sección perforada del pozo 2 implementando mallas planas.	41
<b>Tabla 5.</b> Datos operacionales de las zarandas FLC 503 en cada sección perforada del pozo 3 implementando mallas piramidales plus.	42
<b>Tabla 6.</b> Datos operacionales de las zarandas FLC 503 en cada sección perforada del pozo 4 implementando mallas piramidales plus.	42
<b>Tabla 7.</b> Resultados de la prueba de retorta para cada muestra tomada implementando las mallas planas en la sección 12 ¼" del pozo 1.	49
<b>Tabla 8.</b> Resultados de la prueba de retorta para cada muestra tomada implementando las mallas planas en la sección 8 ½" del pozo 1.	49
<b>Tabla 9.</b> Resultados de la prueba de densidad del fluido aplicada a las muestras tomadas implementando mallas planas en la sección 12 ¼".	51
<b>Tabla 10.</b> Resultados de la prueba de densidad del fluido aplicada a las muestras tomadas implementando mallas planas en la sección 8 ½".	51
<b>Tabla 11.</b> Porcentaje de eficiencia de remoción de sólidos de las mallas planas en la sección 12 ¼".	52
<b>Tabla 12.</b> Porcentaje de eficiencia de remoción de sólidos de las mallas planas en la sección 8 ½".	52
<b>Tabla 13.</b> Datos operativos de las mallas planas durante la sección 12 ¼".	53
<b>Tabla 14.</b> Datos operativos de las mallas planas durante la sección 8 ½".	53
<b>Tabla 15.</b> Resultados de la prueba de retorta para cada muestra tomada implementando las mallas planas en la sección 12 ¼" del pozo 2.	54
<b>Tabla 16.</b> Resultados de la prueba de retorta para cada muestra tomada implementando las mallas planas en la sección 8 ½" del pozo 2.	55
<b>Tabla 17.</b> Resultados de la prueba de densidad del fluido aplicada a las muestras tomadas implementando mallas planas en la sección 12 ¼".	56
<b>Tabla 18.</b> Resultados de la prueba de densidad del fluido aplicada a las muestras tomadas implementando mallas planas en la sección 8 ½".	56
<b>Tabla 19.</b> Porcentaje de eficiencia de remoción de sólidos de las mallas planas en la sección 12 ¼".	57
<b>Tabla 20.</b> Porcentaje de eficiencia de remoción de sólidos de las mallas planas en la sección 8 ½".	58
<b>Tabla 21.</b> Datos operativos de las mallas planas durante la sección 12 ¼".	58
<b>Tabla 22.</b> Datos operativos de las mallas planas durante la sección 8 ½".	59

<b>Tabla 23.</b> Resultados de la prueba de retorta aplicada a las muestras tomadas de los equipos implementando mallas piramidales plus en la sección 12 ¼" en el pozo 3.	60
<b>Tabla 24.</b> Resultados de la prueba de retorta aplicada a las muestras tomadas de los equipos implementando mallas piramidales plus en la sección 8 ½" en el pozo 3.	61
<b>Tabla 25.</b> Resultados de la prueba de densidad aplicada a las muestras tomadas de los equipos implementando mallas piramidales plus en la sección 12 ¼" en el pozo 3.	62
<b>Tabla 26.</b> Resultados de la prueba de densidad aplicada a las muestras tomadas de los equipos implementando mallas piramidales plus en la sección 8 ½" en el pozo 3.	63
<b>Tabla 27.</b> Porcentajes de la eficiencia de remoción de sólidos de cada muestra tomada implementando mallas piramidales plus en la sección 12 ¼".	64
<b>Tabla 28.</b> Porcentajes de la eficiencia de remoción de sólidos de cada muestra tomada implementando mallas piramidales plus en la sección 8 ½".	64
<b>Tabla 29.</b> Datos operativos de las mallas piramidales plus implementadas durante la sección 12 ¼" en el pozo 3.	65
<b>Tabla 30.</b> Datos operativos de las mallas piramidales plus implementadas durante la sección 8 ½".	65
<b>Tabla 31.</b> Resultados de la prueba de retorta aplicada a las muestras tomadas de los equipos implementando mallas piramidales plus en la sección 12 ¼" en el pozo 4.	66
<b>Tabla 32.</b> Resultados de la prueba de retorta aplicada a las muestras tomadas de los equipos implementando mallas piramidales plus en la sección 8 ½" en el pozo 4.	66
<b>Tabla 33.</b> Resultados de la prueba de densidad aplicada a las muestras tomadas de los equipos implementando mallas piramidales plus en la sección 12 ¼" en el pozo 4.	68
<b>Tabla 34.</b> Resultados de la prueba de densidad aplicada a las muestras tomadas de los equipos implementando mallas piramidales plus en la sección 8 ½" en el pozo 4.	68
<b>Tabla 35.</b> Porcentajes de la eficiencia de remoción de sólidos de cada muestra tomada implementando mallas piramidales plus en la sección 12 ¼" en el pozo 4.	69
<b>Tabla 36.</b> Porcentajes de la eficiencia de remoción de sólidos de cada muestra tomada implementando mallas piramidales plus en la sección 8 ½" en el pozo 4.	70
<b>Tabla 37.</b> Datos operativos de las mallas piramidales plus implementadas durante la sección 12 ¼" en el pozo 4.	70
<b>Tabla 38.</b> Datos operativos de las mallas piramidales plus implementadas durante la sección 8 ½" en el pozo 4.	71
<b>Tabla 39.</b> Costos operativos de la perforación del primer pozo del proyecto.	85
<b>Tabla 40.</b> Costos operativos de la perforación del segundo pozo del proyecto.	85
<b>Tabla 41.</b> Costos operativos de la perforación del tercer pozo del proyecto.	85

<b>Tabla 42.</b> Costos operativos de la perforación del cuarto pozo del proyecto.	86
<b>Tabla 43.</b> Costo total de la perforación de un pozo en el escenario 1.	87
<b>Tabla 44.</b> Costo total de la perforación de un pozo en el escenario 2.	87
<b>Tabla 45.</b> Costo total de la perforación de un pozo en el escenario 3.	88
<b>Tabla 46.</b> Costo total de la perforación de un pozo en el escenario 4.	88

## LISTA DE ECUACIONES

	pág.
<b>Ecuación 1.</b> Expresión matemática del Valor Presente Neto.	45
<b>Ecuación 2.</b> Expresión matemática del Valor Presente Neto igualada a cero para calcular la TIR.	46
<b>Ecuación 3.</b> Expresión matemática de la tasa interna de oportunidad efectiva mensual	47
<b>Ecuación 4.</b> Expresión matemática para la determinación del área de secado	50
<b>Ecuación 5.</b> Expresión matemática para la determinación del área de secado	62
<b>Ecuación 6.</b> Expresión matemática para la determinación del área de secado	67

## ABREVIATURAS

<b>%</b>	Porcentaje
<b>°</b>	Grados
<b>”</b>	Pulgadas
<b>°F</b>	Grados Fahrenheit
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>API</b>	Instituto Americano del Petróleo
<b>Gal</b>	Galones
<b>cc</b>	Centímetros cúbicos
<b>ml</b>	Mililitro
<b>BBL</b>	Barriles
<b>BFPD</b>	Barriles de fluido producidos por día
<b>GPM</b>	Galones por minuto
<b>ROP</b>	Tasa de penetración
<b>Rpm</b>	Revoluciones por minuto
<b>Hz</b>	Hertz
<b>KW/h</b>	Kilowatts por hora
<b>dB</b>	Decibeles
<b>Km<sup>2</sup></b>	Kilómetros cuadrados
<b>cP</b>	Centipoise
<b>Ft</b>	Pies
<b>mD</b>	Milidarcys
<b>Psi</b>	Libras por pulgada cuadrada
<b>Scf</b>	Pies cúbicos estándar
<b>USD</b>	Dólar estadounidense
<b>VPN</b>	Valor presente neto
<b>TIR</b>	Tasa interna de reto

## RESUMEN

En el presente trabajo de grado se realiza una evaluación tanto técnica como financiera de la implementación de mallas piramidales plus en shakers Derrick para la perforación de dos pozos en la Cuenca del Putumayo, para ello se realizó una descripción de las condiciones geológicas de la zona donde se va a perforar y posterior a esto, el comportamiento y las propiedades del sistema de control de sólidos primario y las mallas implementadas en la perforación de dichos pozos.

Con el fin de realizar un análisis representativo, se tomaron en cuenta los resultados obtenidos durante la perforación de dos pozos aledaños a la zona de estudio implementando mallas convencionales, para que así, las condiciones en ambas perforaciones fueran similares. Para obtener los resultados y la información necesaria, se llevaron a cabo las pruebas de densidad del lodo, retorta y tamizado del fluido para evaluar el desempeño tanto de las mallas convencionales como de las mallas piramidales plus.

Una vez sean obtenidos los resultados de las pruebas realizadas, se espera que el estudio técnico evidencie un aumento importante en la eficiencia al separar el fluido de perforación de los recortes en las mallas piramidales plus en comparación a las mallas convencionales, además de un incremento del volumen de fluido procesado por malla. Finalmente, se realizará el análisis financiero del proyecto mediante los indicadores económicos Valor Presente Neto (VPN) y Tasa Interna de Retorno (TIR), para los cuales se tuvieron en cuenta la inversión realizada para cada caso y los costos de operación en cada uno, con el fin de que se viera reflejado el panorama económico en cada caso y así, poder determinar cuál de ellos representa una mejor oportunidad para la compañía.

**Palabras clave:** Cuenca del putumayo, Control de sólidos, Malla piramidal plus, Malla convencional, Shakers.

## ABSTRACT

In the present dissertation a technical and financial evaluation of the implementation of pyramidal plus meshes in Derrick shakers for the drilling of two wells in the Putumayo Basin is made, for it a study of the behavior and the properties of the system of primary control of solids and the meshes implemented in the perforation of these wells was made.

In order to carry out a representative analysis, the results obtained during the drilling of two wells adjacent to the study zone using conventional meshes were considering, so that the conditions in both wells were similar. To obtain the results and the necessary information, mud density, retort and fluid screening tests were carried out to evaluate the performance of both conventional and pyramid plus meshes.

Once the results of the tests are obtained, the technical study is expected to show a significant increase in efficiency in separating the drilling fluid from the cuttings in the pyramid plus meshes compared to conventional meshes, as well as an increase in the volume of fluid processed per mesh. Finally, the financial analysis of the project will be carried out by means of the economic indicators Net Present Value (NPV) and Internal Rate of Return (IRR), for which the investment made for each case and the operating costs in each case were taken into account, so that the economic panorama in each case was reflected and thus, to be able to determine which of them represents a better opportunity for the company.

**Keywords:** Putumayo basin, Solids control, Pyramidal plus mesh, Conventional mesh, Shakers

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la industria petrolera es día a día más exigente en cada operación que se lleva a cabo y, debido a esto, muchas de las prácticas, herramientas y estudios tienden a ser obsoletos en menos tiempo del esperado; el tratamiento de las partículas no deseadas presentes en el fluido de perforación no es la excepción, el control de sólidos en los trabajos de perforación es un campo de la ingeniería que también ha seguido este comportamiento.

Debido a las bajas eficiencias de las mallas planas convencionales implementadas en los equipos de control de sólidos primarios o shakers a la hora de separar el fluido de perforación recuperado del pozo de los recortes inmersos en él, los costos en reacondicionamientos y nuevos volúmenes de fluido de perforación base aceite requeridos se han incrementado en los últimos años en la Cuenca del Putumayo, es por esto que, que hoy existe la necesidad de evaluar alternativas más eficientes y menos costosas a las mallas planas o convencionales que se han venido implementando durante estos procesos. A partir de todos los inconvenientes que genera el preparar nuevamente el fluido de perforación perdido en los recortes mal tratados en los equipos de control de sólidos primarios, los sobrecostos que se han venido presentando representan pérdidas importantes para las compañías operadoras no solo por el aumento de la inversión en químicos y fluido base para restituir el lodo perdido, sino también, al tener que invertir en más cantidad de mallas planas debido a su corta vida útil y baja eficiencia a la hora de trabajar.

A raíz de estos inconvenientes, se han realizado algunos estudios en los que se analizan los equipos de control de sólidos primarios y su desempeño a la hora de realizar trabajos de perforación de pozos, investigaciones como *“pruebas críticas de perforación para sólidos en fluidos y equipos de control”*<sup>1</sup> resaltan que los adecuados procedimientos operativos, la eficiencia y el desempeño de las shakers pueden llevar a tener un adecuado control de sólidos sin necesidad de implementar otros equipos. Otras investigaciones en este campo como *“Perforación exitosa de pozos de petróleo y gas por perforación óptima -Control de fluidos y sólidos- evaluación práctica y teórica”*<sup>2</sup> que, a partir de pruebas y datos tomados en operaciones costa afuera, han recopilado ejemplos prácticos y teóricos de las principales causas del desgaste de las mallas para zarandas y con ellos, logrado incrementar la eficiencia en el control de sólidos con fluidos de perforación base aceite además de reducir el desgaste sufrido por las mallas en un 90%.

---

<sup>1</sup> BODIL AASE, ELLEN KATRINE JENSEN, ANNE TURID LIAN VESTBAKKE, BJARTE SIVERT KNUDSEN, FRODE HALDORSEN, ARVID YSTED, EYSTEIN OVE STORSLETT, IREN STEINNES, JORUND ENGER, EINAR KNUT ELIASSEN, TOR HENRY OMLAND. SPE-159894-PA, 2013.

<sup>2</sup> BJORN DAHL, ARILD SAASEN, TOR HENRY OMLAND. SPE-103934-PA. 2008

Al llevar acabo el estudio técnico y financiero de las mallas piramidales plus en los dos pozos de estudio en la Cuenca del Putumayo, se espera obtener resultados favorables que soporten la inversión en mallas con tecnología y diseño totalmente innovadores que permitan aumentar la eficiencia a la hora de separar fluido de sólidos no deseados en mayores cantidades e implementando menos equipos y herramientas, lo que conlleva menores gastos operativos y de insumos para la compañía operadora, sin verse afectada la calidad de los procedimientos.

Para llegar a estos resultados, se trazó como objetivo general el “Evaluar la implementación de mallas piramidales plus en shakers Derrick en la perforación de dos pozos en la Cuenca del Putumayo con fluido base aceite.”, y a su vez, se logrará llegar a este objetivo dando cumplimiento a lo siguiente:

1. Estudiar el desempeño de las mallas convencionales en pozos cercanos al área de estudio.
2. Implementar las mallas piramidales plus en los equipos de control de sólidos de las operaciones de perforación en los pozos de estudio.
3. Comparar el desempeño de las mallas convencionales con las mallas piramidales plus basados en datos obtenidos en pruebas de campo y laboratorio.
4. Evaluar la viabilidad financiera de la implementación de las mallas piramidales plus en los pozos de estudio, mediante los indicadores financieros VPN y TIR.

La realización de este proyecto brinda a la industria petrolera un estudio actualizado a las exigencias de hoy en día que, a la compañía operadora le facilite la toma de decisiones para generar soluciones sustentadas en datos reales a los problemas relacionados con la baja eficiencia en las operaciones de control de sólidos sin gastar excesiva e innecesariamente los recursos disponibles.

Este proyecto de investigación demuestra con datos reales, obtenidos de pruebas realizadas durante las perforaciones de cuatro pozos en la Cuenca del Putumayo, como, a diferencia de las mallas planas, al implementar las mallas piramidales plus en las shakers Derrick del sistema de control de sólidos, estas le traen a una compañía operadora no solo un mayor retorno de la inversión necesaria para una campaña de perforación, sino también más facilidades operativas a la hora de tratar tanto el fluido de perforación recuperado del pozo como los recortes inmersos en él.

## 1. MARCO TEÓRICO

A continuación, se presentará el marco teórico que permite definir y comprender los conceptos básicos necesarios para el entendimiento y desarrollo de este proyecto, desde los sólidos o partículas que van a filtrar las mallas implementadas del fluido de perforación recuperado del pozo, hasta los equipos o shakers donde se van a implementar estas mallas, también se abarcará el tipo de fluido que se va a implementar durante las operaciones de perforación llevadas a cabo en este proyecto. Finalmente, también se expondrán los sistemas que permiten la circulación y el reacondicionamiento del lodo que fueron importantes a la hora de desarrollar esta investigación.

### 1.1 SÓLIDOS

Productos químicos, arcillas y materiales densificantes son agregados al lodo de perforación para lograr varias propiedades deseables. Los sólidos perforados, compuestos de rocas y arcillas de bajo rendimiento, se incorporan en el lodo. Estos sólidos afectan negativamente muchas propiedades del lodo. Sin embargo, como no es posible eliminar todos los sólidos perforados – ya sea mecánicamente o por otros medios – éstos deben ser considerados como contaminantes constantes de un sistema de lodo. Los tipos y las cantidades de sólidos presentes en los sistemas de lodo determinan la densidad del fluido, la viscosidad, los esfuerzos de gel, la calidad del revoque y el control de filtración, así como otras propiedades químicas y mecánicas. Vale la pena resaltar que los cortes de perforación también entran en esta clasificación y son pequeños fragmentos de formación que resultan de la acción desbastadora, raspante y/o triturante de la barrena.<sup>3</sup> Un alto contenido de sólidos perforados aumenta la viscosidad plástica debido al amontonamiento. La cantidad excesiva de sólidos en los lodos base aceite y sintético no sólo reduce el rendimiento hidráulico, sino que también puede reducir la estabilidad de la emulsión.<sup>4</sup>

**1.1.1 Sólidos de baja gravedad específica.** Sólidos con una gravedad específica comprendida en el rango de 2.3 a 2.8, entre ellos se pueden encontrar los sólidos perforados, las arcillas y demás aditivos utilizados para mantener densidades de hasta 10 lb/gal (Gravedad específica < 1.2)<sup>5</sup>

---

<sup>3</sup> American Petroleum Institute, MANUAL DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN, Dallas-Texas, 2001, Pagina 778.

<sup>4</sup> American Petroleum Institute, MANUAL DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN, Dallas-Texas, 2001, Página 365

<sup>5</sup> American Petroleum Institute, MANUAL DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN, Dallas-Texas, 2001, Pagina 247.

**1.1.2 Sólidos de alta gravedad específica.** Sólidos con una gravedad específica comprendida en el rango de 4.2 en adelante, Los materiales densificantes como la barita o la hematita componen la categoría de HGS y son usados para lograr densidades superiores a 10,0 lb/gal (SG>1,2).<sup>6</sup>

## 1.2 CONTROL DE SÓLIDOS

El control de sólidos eficaz es esencial para el uso económico de los sistemas de aceite y sintético, debido a su costo relativamente alto y a las consideraciones de eliminación. Aunque los sólidos perforados no se hidraten en los lodos base aceite y sintético, como lo hacen en los lodos base agua, el control de sólidos es crítico en estos lodos.<sup>7</sup>

La remoción de sólidos es uno de los más importantes aspectos del control del sistema de lodo, debido a que tiene un impacto directo sobre la eficacia de la perforación. El dinero invertido en el control de sólidos y la solución de problemas relacionados con los sólidos perforados representa una porción importante de los costos globales de perforación. El control de sólidos es un problema constante – cada día, en cada pozo.<sup>8</sup>

Es importante alcanzar paso a paso la remoción progresiva de los sólidos perforados, permitiendo que cada equipo optimice el desempeño de los equipos siguientes. Además, el sistema debe permitir ajustar la eliminación de los sólidos indeseables y la recuperación del valioso material densificaste.<sup>9</sup>

Dentro de este sistema podemos encontrar el equipo que se utilizará en este proyecto para implementar las mallas que se están estudiando, que sería la zaranda vibratoria o shaker, acompañada de otros que se van a ilustrar a continuación

---

<sup>6</sup> American Petroleum Institute, MANUAL DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN, Dallas-Texas, 2001, Pagina 247.

<sup>7</sup> American Petroleum Institute, MANUAL DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN, Dallas-Texas, 2001, Pagina 365.

<sup>8</sup> American Petroleum Institute, MANUAL DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN, Dallas-Texas, 2001, Pagina 247.

<sup>9</sup> Mi Swaco, CURSO DE CONTROL DE SÓLIDOS, Pagina 23.

**1.2.1. Zaranda vibratoria.** El dispositivo principal, y quizás más importante, del equipo de control de sólidos que permite remover los sólidos perforados inmersos en el lodo. Este tamiz vibratorio es simple en cuanto a concepto, pero un poco más complicado para utilizarlo de forma eficiente. Una malla de tela mecánica vibra mientras el fluido de perforación fluye sobre éste. La fase líquida del lodo y los sólidos más pequeños que la malla metálica pasan a través del cedazo, en tanto que los sólidos más grandes son retenidos en éste y finalmente caen por la parte posterior del dispositivo y son descartados. Las aberturas más pequeñas de la malla eliminan más sólidos de todo el lodo, pero se observa una reducción correspondiente en la tasa de flujo por unidad de área de la malla metálica. En consecuencia, la brigada de perforación debería procurar correr mallas, lo más finas posibles, sin descargar la totalidad del lodo fuera de la parte posterior de la zaranda. Si bien en algún momento era común que los equipos de perforación contarán con una o dos zarandas vibratorias solamente, los equipos de perforación modernos de alta eficiencia están provistos a menudo de cuatro o más zarandas, lo que provee más superficie de malla metálica para utilizar y otorga a la brigada la flexibilidad para correr cedazos cada vez más finos.<sup>10</sup>

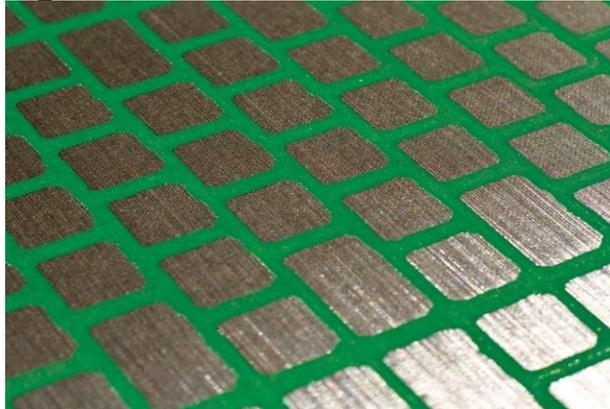
**1.2.1.1 Malla.** Se refiere al número de aberturas por pulgada lineal. Por ejemplo, una malla “cuadrada” de malla 30 x 30 tiene 30 aberturas a lo largo de una línea de 1 pulgada en ambas direcciones. Una malla “oblonga” (abertura rectangular) de malla 70 x 30 tendrá 70 aberturas a lo largo de una línea de 1 pulgada en una dirección, y 30 aberturas en una línea perpendicular de 1 pulgada. Según el fabricante, el tamaño del alambre y el tejido, esta malla de malla 70 x 30 se puede describir como: (1) una malla “oblonga” o “rectangular” de malla 70, (2) una malla “oblonga 80” para clasificar la abertura rectangular eficaz en términos de cuadrado equivalente, o posiblemente (3) una malla de malla 100. A continuación, se ilustran los tipos de malla que se pueden implementar en las shakers Derrick FLC 503, las cuales se utilizarán en este proyecto.

➤ **Malla plana o convencional.** Las mallas convencionales se denominan así por ser el diseño tradicional implementado en la separación de sólidos, este es un diseño simple con una geometría plana, lo que genera una superficie rígida más fácil para tensionar y por esto, área de trabajo reducida. En seguida en la **figura 1**, se observa el diseño de la malla plana.

---

<sup>10</sup> SCHLUMBERGER, Oilfield Glossary. [sitio web]. [Consultado: 09 de febrero de 2020]. Disponible en: [https://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/s/shale\\_shaker.aspx/](https://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/s/shale_shaker.aspx/)

**Figura 1. Malla Plana Derrick.**



**Fuente:** DERRICK, Flat Screens. [sitio Web]. [Consultado: 09 de febrero de 2020]. Disponible en: <http://derrick.com/Products/flat-screens/>

Derrick ha revolucionado la tecnología de mallas con la patente de las mallas piramidales y las mallas piramidales plus. Estas revolucionarias mallas tridimensionales ofrecen los beneficios de las mallas multicapa tradicionales mientras se añade un incremento significativo del área utilizable en la malla. El resultado es una malla que incrementa la capacidad de manejo del fluido. Las mallas piramidales y piramidales plus proveen una fácil, y económicamente rentable la eficiencia de las zarandas. Diseñadas con la última tecnología, las mallas con estructura piramidal ayudan a terminar más rápido las operaciones de perforación, reduciendo costos de lodo y su disposición.

➤ **Malla piramidal.** Las mallas piramidales presentan un diseño patentado por la compañía Derrick el cual puede ser implementado en diferentes marcas de equipos de control de sólidos y refleja importantes mejoras en la retención de fluido impregnado en los sólidos extraídos del fondo del pozo respecto a las mallas convencionales, esto a partir de una mayor área de trabajo y una estructura con mejor acumulación de sólidos. En donde la gravedad y la vibración fuerzan a los sólidos hacia los canales de la malla piramidal, lo que permite que pase más fluido a través de la parte superior de la malla. Se puede ver claramente la diferencia del diseño entre una malla plana y una malla piramidal en las **figuras 2 y 3**.

**Figura 2. Malla piramidal Derrick.**



**Fuente:** DERRICK, Pyramid Screens. [sitio Web]. [Consultado: 09 de febrero de 2020]. Disponible en: <http://derrick.com/Products/Pyramid-screens/>

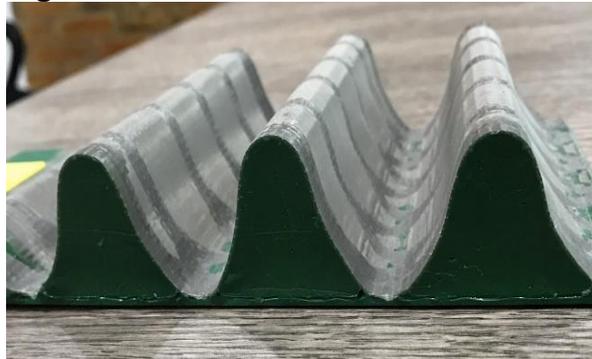
**Figura 3. Malla Plana**



**Fuente:** DERRICK, Flat Screens. [sitio Web]. [Consultado: 09 de febrero de 2020]. Disponible en: <http://derrick.com/Products/flat-screens/>

- **Malla piramidal plus.** Las mallas piramidales plus son un diseño de malla exclusivo para equipos de control de sólidos Derrick, patentado por la misma compañía estadounidense. A diferencia de las mallas piramidales, su diseño presenta crestas más altas en sus ondulaciones, incrementando el caudal de fluido recuperado y el volumen de sólidos limpios separados de este. Así mismo se tiene que el área de contacto con el que actúa este tipo de malla es un 184% más eficiente que las mallas convencionales, así como que el manejo de los fluidos aumenta hasta en un 125% con separaciones de sólidos de hasta 40 micrones. Se pueden apreciar las diferencias en la malla piramidal plus en la **figura 4**.

**Figura 4. Malla Piramidal Plus Derrick.**



**Fuente:** elaboración propia

**1.2.1.2 Principales propiedades de las mallas.** Todos los tipos de malla tienen propiedades que definen su eficiencia a la hora de separar los recortes y sólidos no deseados presentes en el fluido de perforación al momento en que este las atraviesa, entre estas propiedades se encuentran:

- **Punto de corte.** El punto de corte es la relación existente entre el tamaño de una partícula y el porcentaje de esa partícula removida del sistema según el tamaño de la abertura. Se denota con una letra “D” con un subíndice que indica el porcentaje de remoción de un tamaño de partícula en específico, y de las partículas de mayor tamaño.
- **Conductancia.** Permeabilidad por unidad de área en una malla para shaker, medida en unidades de kilo Darcy / milímetro ( $kD/mm$ ).<sup>11</sup> Es decir, una medida que indica la capacidad que tiene un fluido de atravesar las aberturas en la malla.

**1.2.1.3 Zaranda derrick FLC 503 flo-line® cleaner.** La zaranda FLC 503 es el equipo que se va a implementar durante la perforación de cada uno de los pozos trabajados en este proyecto y está diseñada para remover los sólidos presentes en el fluido de perforación. Es una maquina compuesta de un motor dual de alta frecuencia y mallas vibratorias con movimiento lineal diseñadas para la separación de partículas finas en los procesos de perforación en la industria de petróleo y gas. Esta zaranda cuenta con la disponibilidad de tres paneles para la implementación de sus respectivas mallas, así mismo está configurada con una selección de motores y cuenta con una característica que permite ajustarla manualmente mientras se realiza la perforación.<sup>12</sup>

**Figura 5.** Zaranda Derrick FLC 503 Flo-Line Cleaner



**Fuente:** Derrick, FLC 503 FLO-LINE® CLEANER SGX MOTOR MAINTENANCE & OPERATION MANUAL, Houston-Texas, 2011, Introduction, Página 1.2

<sup>11</sup> American Petroleum Institute, RECOMENDED PRACTICE ON DRILLING FLUIDS PROCESSING SYSTEMS EVALUATION, 2004, Página 3.

<sup>12</sup> Derrick, FLC 503 FLO-LINE® CLEANER SGX MOTOR MAINTENANCE & OPERATION MANUAL, Houston-Texas, 2011, Introduction, Página 1.2

**1.2.1.4 Componentes.** Las shakers o zarandas FLC 503 para trabajar en óptimas condiciones están compuestas de los siguientes equipos o herramientas principales:

- **Estructura de la malla.** Se encuentra suspendida entre las patas verticales del ensamblaje de la tolva. El movimiento vibratorio de la estructura está aislado de los miembros estructurales por ocho montajes flotantes. Los motores vibratorios están unidos directamente a la estructura y posicionados sobre la base de las mallas para maximizar la fuerza G transferida a la superficie de las mallas. La base de las mallas está un poco inclinada para permitir la adecuada tensión a la superficie de las mallas patentadas. Este método de tensión ejercida en la malla aumenta el desempeño de esta y extiende su vida útil.<sup>13</sup>
- **Motores vibratorios:** Dos motores vibratorios de trabajo continuo entregan 7Gs de fuerza a la estructura de la malla. Polaridades eléctricas opuestas generan rotación a los motores en direcciones opuestas, y de este modo dar un movimiento lineal de vibración a la estructura que permita un adecuado traspaso de los sólidos hacia la descarga final de la máquina.<sup>14</sup>
- **Tolva y estructura de soporte:** La tolva y la estructura de soporte son una unidad combinada que consiste en que la tolva recibe una corriente de fluido desde las mallas y sus respectivas estructuras de soporte. La tolva también posee suministros de ensamble para la caja de unión eléctrica y para los motores iniciales. Una estructura fija da a la parte trasera de la tolva soporte, esta configuración permite ajustar el ángulo de la estructura de las mallas.<sup>15</sup>
- **Adjustable While Drilling (AWD):** El ajustable durante perforación permite al operador ajustar el Angulo de la estructura de las mallas para extender el tiempo que el lodo permanece sobre la malla intermedia debido a la elevación final de la estructura de las mallas. Este tiempo adicional mejora la separación de los sólidos.<sup>16</sup>
- **Alimentador:** Para la zaranda FLC 305 se tienen disponibles una caja o una presa como opciones de alimentación, en la caja esta recibe el lodo y lo distribuye a través de la estructura de las mallas. Mientras que la presa

---

<sup>13</sup> Derrick, FLC 503 FLO-LINE® CLEANER SGX MOTOR MAINTENANCE & OPERATION MANUAL, Houston-Texas, 2011, Introduction, Página 1.3

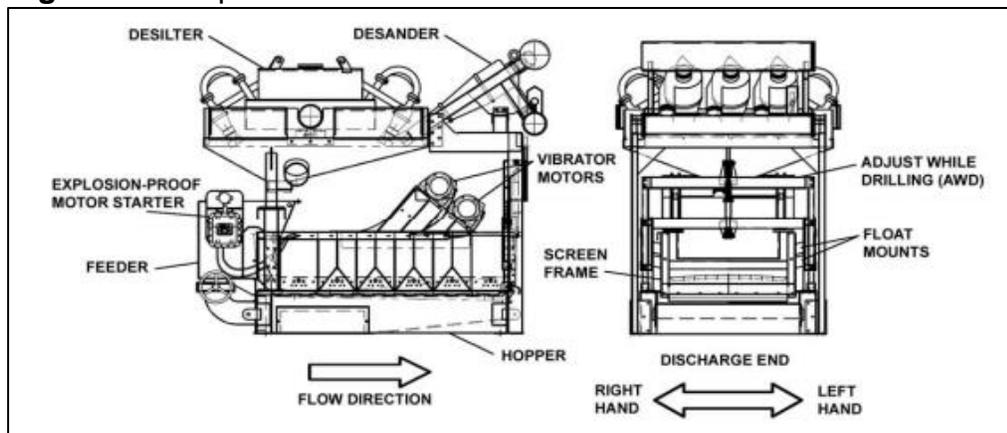
<sup>14</sup> Derrick, FLC 503 FLO-LINE® CLEANER SGX MOTOR MAINTENANCE & OPERATION MANUAL, Houston-Texas, 2011, Introduction, Página 1.4

<sup>15</sup> Derrick, FLC 503 FLO-LINE® CLEANER SGX MOTOR MAINTENANCE & OPERATION MANUAL, Houston-Texas, 2011, Introduction, Página 1.4

<sup>16</sup> Derrick, FLC 503 FLO-LINE® CLEANER SGX MOTOR MAINTENANCE & OPERATION MANUAL, Houston-Texas, 2011, Introduction, Página 1.4

funciona de manera que está dividida en tanques de entrada y salida en los que el diseño permite un incremento suficientemente alto a los tanques de entrada y que este caiga en el tanque de salida para así entrar en la estructura de las mallas, lo que permite facilitar la remoción de los sólidos acumulados.<sup>17</sup> A continuación, en la **figura 6** se puede observar en la imagen la disposición de los principales componentes de las shakers FLC 503.

**Figura 6.** Componentes de Zaranda Derrick FLC 503 Flo-Line Cleaner



**Fuente:** Derrick, FLC 503 FLO-LINE® CLEANER SGX MOTOR MAINTENANCE & OPERATION MANUAL, Houston-Texas, 2011, Introduction, Página 1.5

**1.2.2. Hidrociclón.** Una bomba centrífuga suministra un alto volumen de lodo a través de una abertura tangencial en el extremo del hidrociclón embudado. Cuando se usa la presión apropiada, esto produce el movimiento vorticoso del fluido, parecido al movimiento de una tromba de agua, un tornado o un ciclón, expulsando los sólidos húmedos de mayor masa por el fondo abierto y devolviendo el líquido a través de la parte superior del hidrociclón.<sup>18</sup>

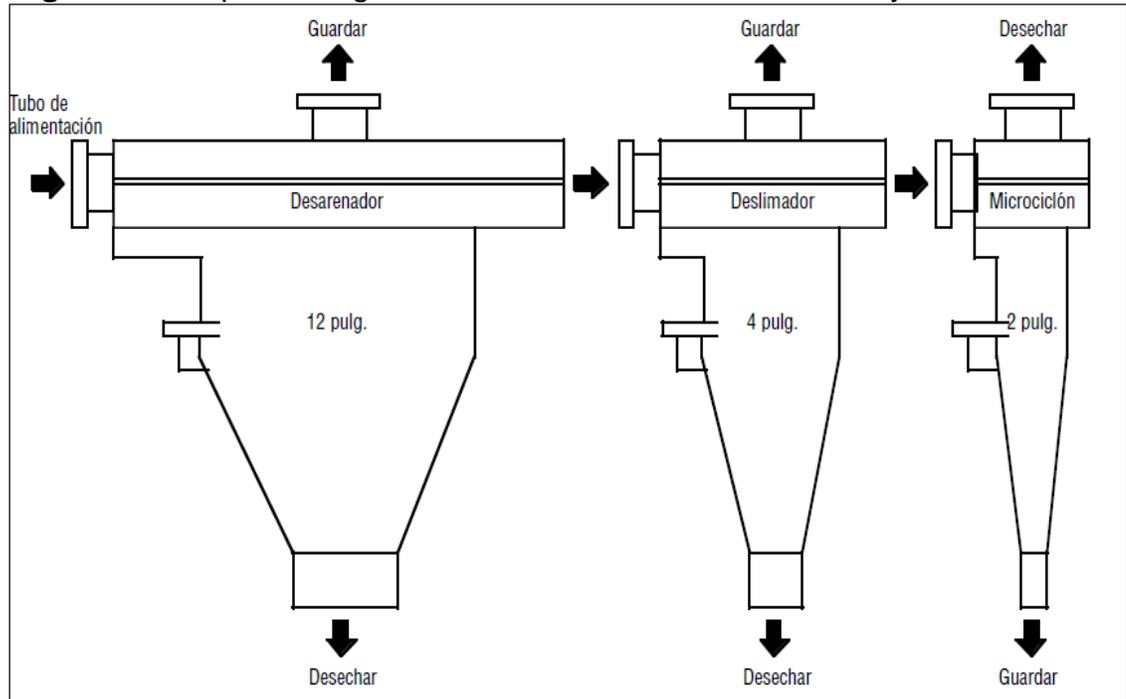
**1.2.3. Desarenador.** Se necesita usar un desarenador para impedir la sobrecarga de los deslimadores. En general se usa un hidrociclón de 6 pulgadas de diámetro interior o más grande, con una unidad compuesta de dos hidrociclones de 12 pulgadas, cada uno de los cuales suele tener una capacidad de 500 gpm. Los grandes hidrociclones desarenadores tienen la ventaja de ofrecer una alta capacidad volumétrica o de caudal por hidrociclón, pero tienen el inconveniente de realizar grandes cortes de tamaño de partícula comprendidos en el rango de 45 a 74 micrones.<sup>19</sup>

<sup>17</sup> Derrick, FLC 503 FLO-LINE® CLEANER SGX MOTOR MAINTENANCE & OPERATION MANUAL, Houston-Texas, 2011, Introduction, Página 1.5

<sup>18</sup> American Petroleum Institute, MANUAL DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN, Dallas-Texas, 2001, Introducción, Página 8.14

<sup>19</sup> American Petroleum Institute, MANUAL DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN, Dallas-Texas, 2001, Introducción, Página 1.16

**Figura 7.** Comparación grafica entre desarenador deslimador y microociclón.



**Fuente:** American Petroleum Institute, MANUAL DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN, Dallas-Texas, 2001, Introducción, Página 8.15

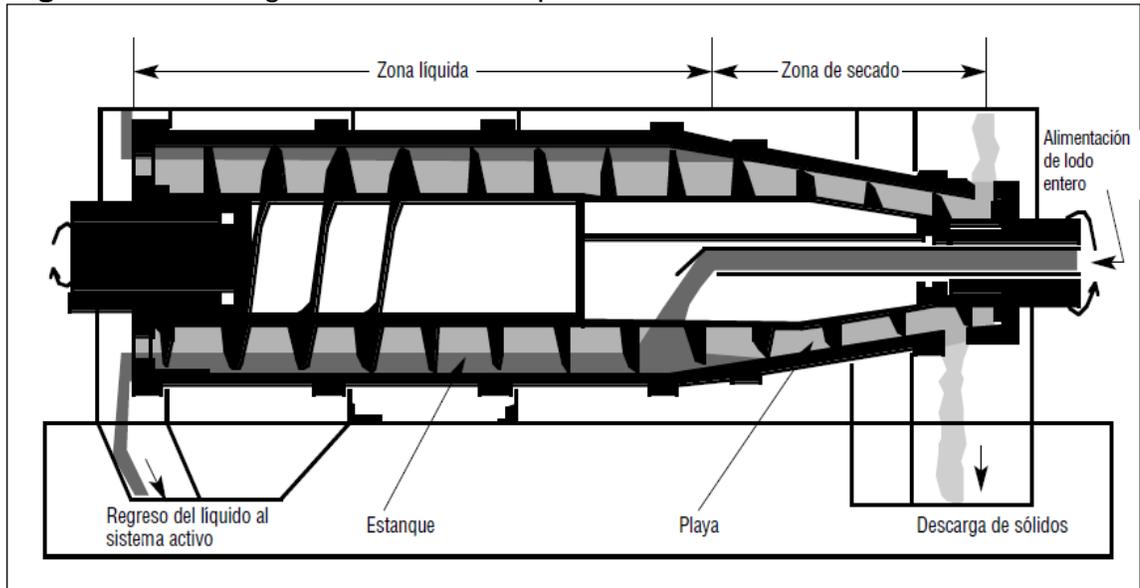
**1.2.4. Deslimador.** Para lograr la máxima eficiencia y evitar la sobrecarga del deslimador, todo el flujo debería ser desarenado antes de ser deslimizado. En general se usa un hidrociclón de 4 pulgadas de diámetro interno para deslimizar, con una unidad que contiene 12 o más hidrociclones de 4 pulgadas, cada uno de los cuales suele tener una capacidad de 75 gpm.<sup>20</sup>

**1.2.5. Centrífuga.** Como con los hidrociclones, las centrífugas de tipo decantador aumentan las fuerzas que causan la separación de los sólidos al aumentar la fuerza centrífuga. La centrífuga decantadora se compone de un tazón cónico de acero horizontal que gira a una gran velocidad, con un tornillo transportador helicoidal en su interior. Este tornillo transportador gira en la misma dirección que el tazón exterior, pero a una velocidad ligeramente más lenta. La alta velocidad rotacional fuerza los sólidos contra la pared interior del tazón y el tornillo transportador los empuja hacia el extremo, donde son descargados.<sup>21</sup>

<sup>20</sup> American Petroleum Institute, MANUAL DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN, Dallas-Texas, 2001, Introducción, Página 8.17

<sup>21</sup> American Petroleum Institute, MANUAL DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN, Dallas-Texas, 2001, Introducción, Página 8.18

**Figura 8.** Centrifuga decantadora de perfil.

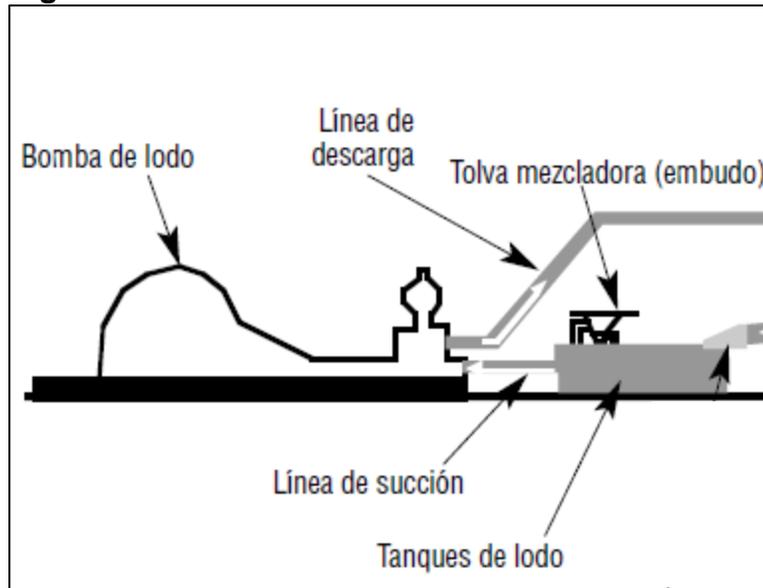


**Fuente:** American Petroleum Institute, MANUAL DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN, Dallas-Texas, 2001, Introducción, Página 8.15

### 1.3 CIRCULACIÓN DEL LODO Y ELIMINACIÓN DE SÓLIDOS

Un sistema de circulación de lodo inicia con las bombas de lodo. Las bombas de lodo son bombas de desplazamiento positivo, algunas de las cuales producen hasta 5.000 psi. Estas bombas son accionadas por motores diesel o eléctricos. Para producir la presión y el caudal requeridos para un conjunto específico de condiciones de perforación, será necesario seleccionar los tamaños correctos de émbolo y camisa para las bombas, y especificar los tamaños apropiados de tobera para la barrena

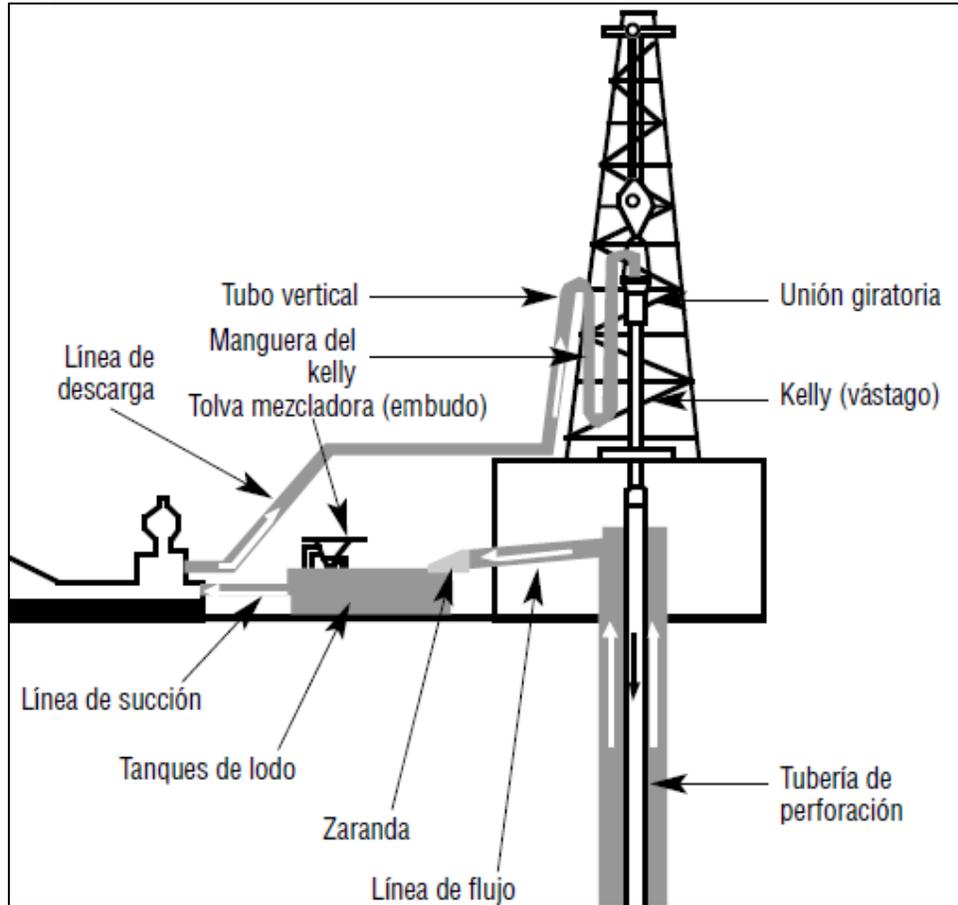
**Figura 9.** Bombas del sistema de circulación.



**Fuente:** American Petroleum Institute, MANUAL DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN, Dallas-Texas, 2001, Introducción, Página 1.12

Después de salir de la bomba de lodo a alta presión, el fluido de perforación sube por el tubo vertical, un largo tubo vertical atado al pie de la torre de perforación pasa a través de la manguera del Kelly (manguera de perforación) y luego fluye hacia abajo dentro del Kelly. Después, el lodo viaja a través de la columna de perforación hasta alcanzar la barrena. En general, una barrena tiene dos o más toberas que aceleran el lodo para obtener un chorro de gran velocidad. Este chorro de lodo de gran velocidad lava el fondo del pozo para mantener limpios los cortadores de la barrena y proporcionar una nueva superficie de roca a la barrena.

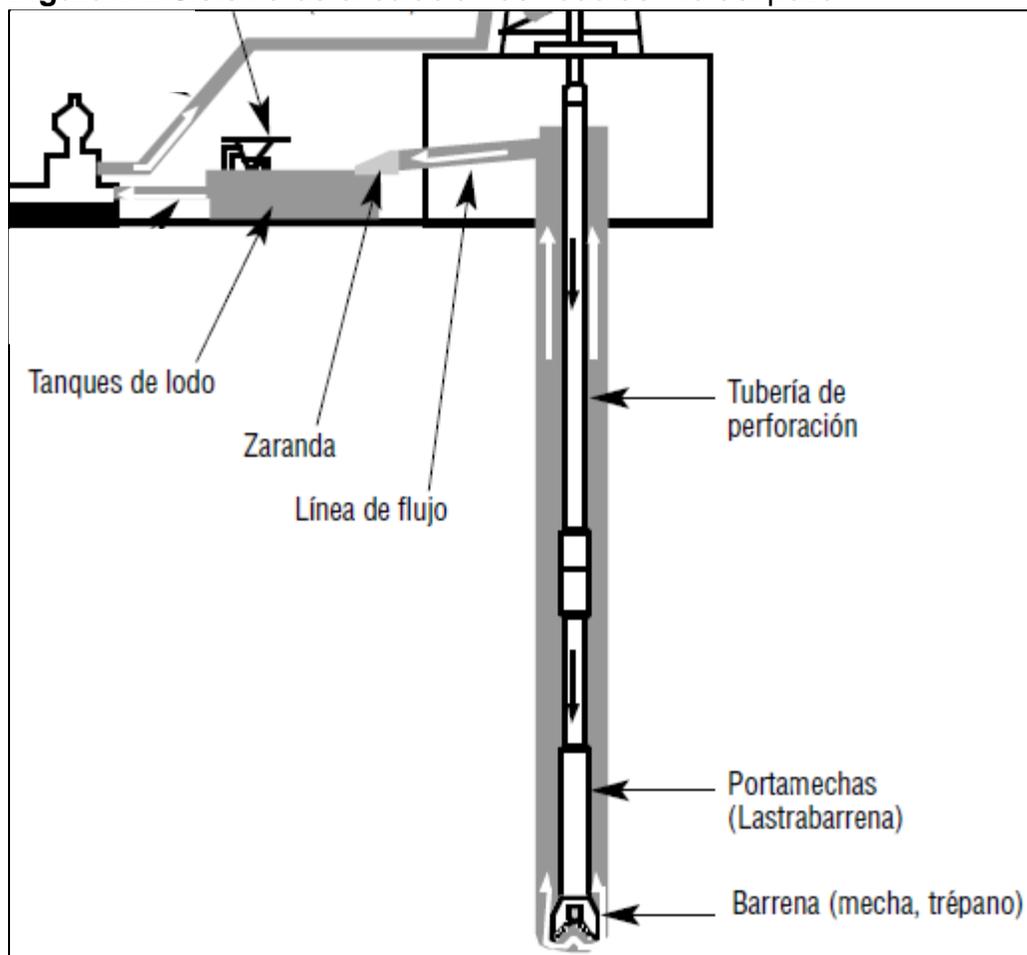
**Figura 10.** Sistema de circulación en la torre de perforación.



**Fuente:** American Petroleum Institute, MANUAL DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN, Dallas-Texas, 2001, Introducción, Página 1.12

A partir del fondo del pozo, el lodo sube por el espacio anular que existe entre la columna de perforación y el pozo, transportando los recortes generados por la barrena. El lodo y su carga de recortes fluyen fuera del “niple de campana”, pasando a través de una tubería inclinada de gran diámetro (línea de flujo) hasta llegar sobre una o varias mallas vibratorias de tela metálica montadas sobre la zaranda. Este concepto consiste en hacer caer el lodo a través de las mallas, separando la mayoría de los recortes (de tamaño más grande que la apertura de la tela metálica de la malla) del sistema de circulación.

**Figura 11.** Sistema de circulación del lodo dentro del pozo.



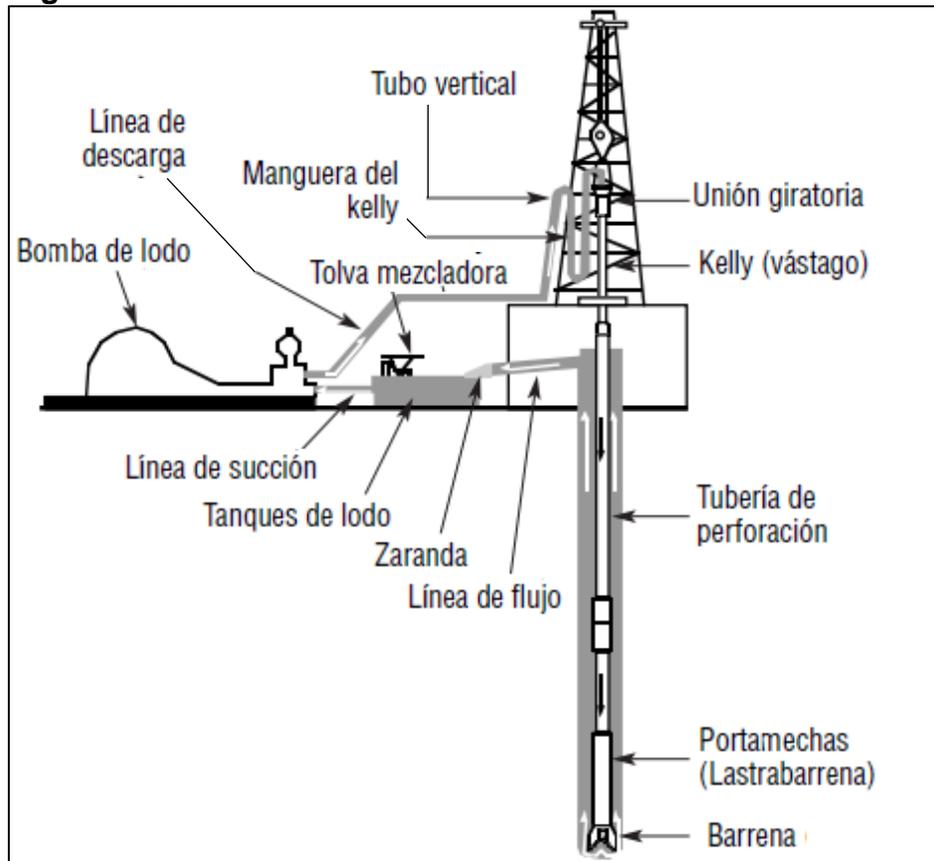
**Fuente:** American Petroleum Institute, MANUAL DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN, Dallas-Texas, 2001, Introducción, Página 1.12

Después de pasar a través de la malla, el lodo cae dentro de un tanque de asentamiento. Éstos son tanques metálicos rectangulares de gran tamaño, conectados por tuberías o canales. El tanque de asentamiento (trampa de arena) no es agitado, de manera que los sólidos residuales de gran tamaño puedan sedimentarse por separado del lodo.

A partir del tanque de asentamiento, el lodo pasa dentro de fosos de lodo agitados, ubicados corriente abajo, donde se separa el gas, la arena y el limo. Después de eso, el lodo entra en el tanque de succión, donde las bombas lo extraen para hacerlo circular de nuevo dentro del agujero.<sup>22</sup> En la **figura 11** se ilustra el recorrido que hace el fluido de perforación dentro del sistema de circulación.

<sup>22</sup> American Petroleum Institute, MANUAL DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN, Dallas-Texas, 2001, Introducción, Página 1.12

**Figura 12.** Sistema de circulación de lodo



**Fuente:** American Petroleum Institute, MANUAL DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN, Dallas-Texas, 2001, Introducción, Página 1.12

#### 1.4 FLUIDO DE PERFORACION O LODO

Cualquiera de una serie de fluidos líquidos, gaseosos y mezclas de fluidos y sólidos (en forma de suspensiones de sólidos, mezclas y emulsiones de líquidos, gases y sólidos) utilizados en operaciones de perforación de pozos de sondeo en la tierra. Se ha intentado clasificar los fluidos de perforación de muchas maneras, a menudo produciendo más confusión que esclarecimiento. Un esquema de clasificación se basa únicamente en la composición del lodo distinguiendo el componente que define con claridad la función y el rendimiento del fluido: a base de agua, no a base de agua o a base de aceite y gaseoso (neumático). Cada categoría tiene una

variedad de subcategorías que se superponen entre sí considerablemente.<sup>23</sup> Para este proyecto se implementarán solamente fluidos de perforación o lodos base aceite.

**1.4.1. Lodo base aceite.** Son fluidos verdaderos cuya fase continua es de 90 a 95 % de aceite y su fase discontinua es de 5 a 10% de agua emulsionada en aceite, puede utilizar en la fase continua aceite mineral y aceite vegetal; son sistemas utilizados para extraer núcleos e intervalos productivos.<sup>24</sup>

**1.4.2. Lodos de emulsión invertida.** son fluidos de mezcla de agua en aceite y que contienen agua como la fase dispersa y aceite como la fase continúa. Estos pueden contener hasta un 50% de agua en la fase líquida. Los emulsificantes (que comúnmente son ácidos grasos y derivados de las aminas), como jabones de peso molecular alto y las concentraciones de agua varían con el fin de controlar la reología y la estabilidad eléctrica.

**1.4.3. Lodos de aceite.** Por lo general se fabrican utilizando una mezcla de: asfaltos oxidados, ácidos orgánicos, alcalinos, otros agentes y ACPM. Al ajustar la concentración de jabones alcalinos y ácidos con diesel, se mantienen las propiedades de viscosidad y de gelificación.<sup>25</sup>

## **1.5 PRUEBAS PARA EVALUAR EL DESEMPEÑO DE LAS MALLAS EN LAS ZARANDAS DERRICK FLC 503 FLO-LINE CLEANER**

Para llevar a cabo un análisis representativo de las mallas dispuestas para el control de sólidos en las operaciones de perforación es necesario llevar a cabo una serie de pruebas de laboratorio para determinar el efecto que estas generan en el fluido utilizado y si son eficientes durante las operaciones. Para ello se dispone de las siguientes pruebas físicas de laboratorio aplicadas al fluido de perforación.

**1.5.1. Prueba de densidad del fluido.** La densidad (comúnmente llamada peso del lodo) se mide con una balanza de lodo de suficiente precisión para obtener mediciones con un margen de error de 0,1 lb/gal (0,5 lb/pie<sup>3</sup> o 5 psi/1.000 pies de profundidad). A todos los efectos prácticos, la densidad significa el peso por volumen unitario y se mide pesando el lodo. El peso del lodo se puede expresar

---

<sup>23</sup> SCHLUMBERGER, Oilfield Glossary. [sitio web]. [Consultado: 09 de febrero de 2020]. [https://www.glossary.oilfield.slb.com/Terms/d/drilling\\_mud.aspx](https://www.glossary.oilfield.slb.com/Terms/d/drilling_mud.aspx)

<sup>24</sup> American Petroleum Institute, MANUAL DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN, Dallas-Texas, 2001.

<sup>25</sup> Ecopetrol, MANUAL DE OPERACIONES DE PERFORACION, 1994, versión 1, página 87

como gradiente de presión hidrostática en lb/pulg<sup>2</sup> por 1.000 pies de profundidad vertical (psi/1.000 pies), como densidad en lb/gal, lb/pie<sup>3</sup>, o como Gravedad Específica (SG).<sup>26</sup>

**1.5.2. Prueba de contenido de líquidos y sólidos o retorta.** Se usa una retorta para determinar la cantidad de líquidos y sólidos en el fluido de perforación. El lodo es colocado dentro de un contenedor de acero y calentado hasta que los componentes líquidos se vaporicen. Los vapores son dirigidos a través de un condensador y captados en un cilindro graduado, después de lo cual se mide el volumen de líquido. Los sólidos, tanto suspendidos como disueltos, son determinados calculando la diferencia. Se puede usar una retorta de 10, 20 o 50 ml para determinar el contenido de líquidos y sólidos. Para reducir el margen de error asociado con el aire arrastrado, se recomienda usar una retorta de 20 o 50 ml.<sup>27</sup>

**1.5.3. Prueba de tamiz del fluido.** Se utiliza un tamiz correspondiente a las mallas utilizadas durante las operaciones de control de sólidos en el fluido de perforación, con el fin de determinar la eficiencia de separación de este tipo de herramientas. Esta prueba se lleva a cabo a partir de la selección equivalente del tamiz mediante la norma API RP13C la cual indica la herramienta adecuada a utilizar para la separación de cada partícula sólida dentro de un fluido dado en micrones. La determinación de la eficiencia se realiza mediante el análisis de peso del tamiz con y sin muestra de fluido y como este efectúa la separación de las cargas sólidas del fluido.

---

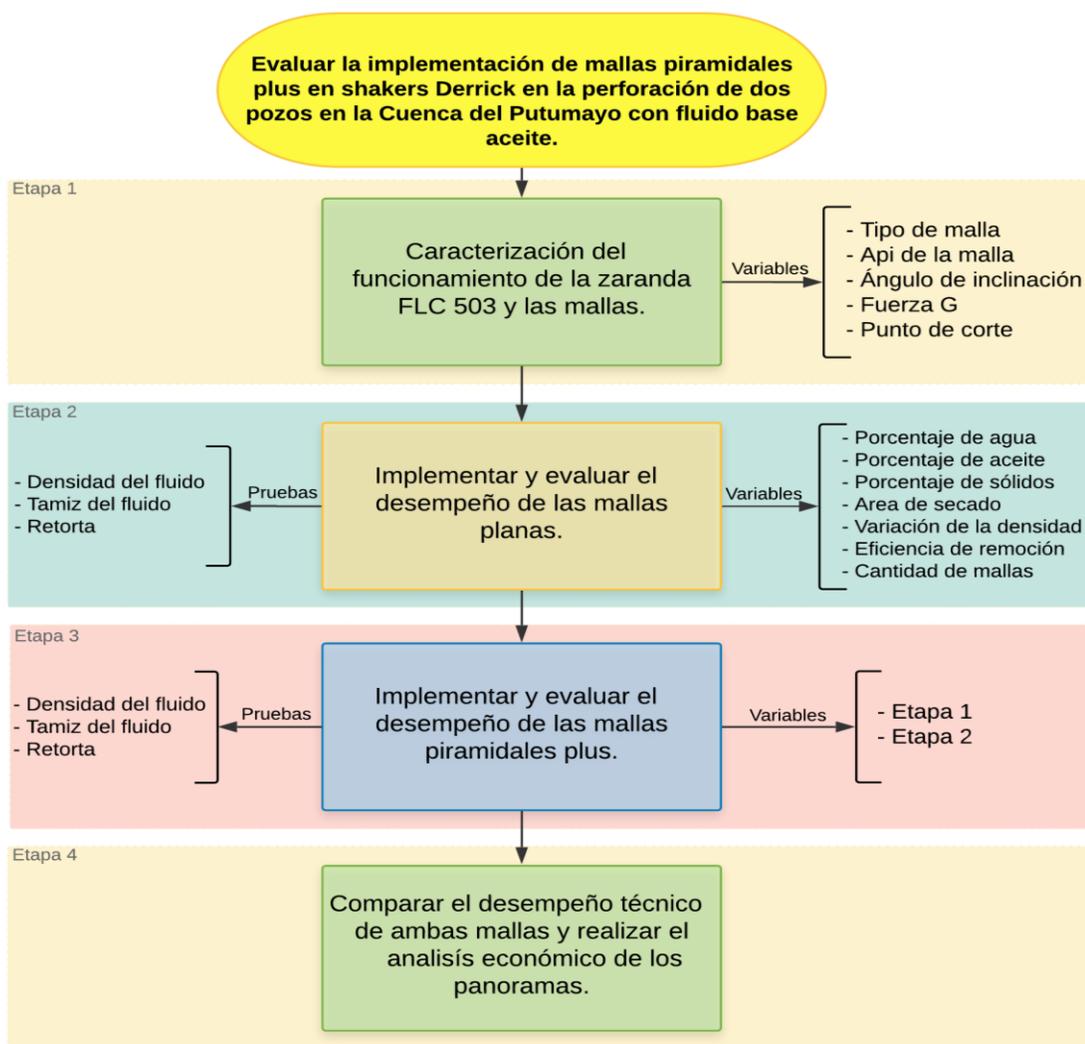
<sup>26</sup> American Petroleum Institute, MANUAL DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN, Dallas-Texas, 2001, Página 33

<sup>27</sup> American Petroleum Institute, MANUAL DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN, Dallas-Texas, 2001, Página 88

## 2. METODOLOGÍA Y DATOS

Durante este capítulo se ilustrará y organizara la información de los procedimientos que se realizaron durante el proyecto de investigación, además de la descripción de los equipos implementados, con el fin de, establecer las condiciones a las cuales se tomaron las muestras de fluido con las que se trabajó durante el proyecto y, las condiciones a las cuales se corrieron las pruebas que se les realizaron a estas muestras. Posterior a esto, cómo se realizó el estudio financiero de ambos panoramas en el proyecto a partir de la información suministrada por Ramde Solids Control S.A.S.

### 2.1 DIAGRAMA DE FLUJO



Fuente: elaboración propia

## 2.2 CARACTERIZACION DEL FUNCIONAMIENTO DE LA ZARANDA FLC 503 Y LAS MALLAS

A continuación, se hará la descripción de las zarandas implementadas al realizar la perforación de las secciones 12 ¼” y 8 ½” de todos los pozos que se tuvieron en cuenta para realizar este proyecto, vale la pena resaltar que se utilizaron las mismas zarandas para los cuatro pozos, implementando tanto mallas planas como mallas piramidales plus. Al perforar el primer pozo implementando mallas planas, el intervalo de profundidades de la sección 12 ¼” fue desde 4000 pies hasta 10100 pies, intervalo en el cual se trabajó con una ROP de 60.6 pies por hora en promedio, mientras que para el intervalo de 8 ½” el intervalo de profundidades fue desde 10100 pies hasta 11801 pies, trabajando con una ROP promedio de 31 pies por hora. Para el segundo pozo perforado implementando mallas planas, se perforó un intervalo desde 3404 pies hasta 8270 pies para la sección de 12 ¼”, durante el cual se manejó una ROP promedio de 71 pies por hora, a diferencia de la sección de 8 ½”, que se perforó en un intervalo de profundidad de 8270 pies a 9914 pies, a una ROP de 43.5 pies por hora en promedio.

Es importante resaltar que, el ángulo de inclinación descrito en las **tablas 1 y 3** es un rango dentro del cual trabajaron las shakers durante todas las perforaciones del proyecto, y este fue variando durante las mismas debido a las condiciones de cada pozo, razón por la cual no se pudo desarrollar un análisis para determinar el ángulo óptimo de operación de estas shakers implementando cada malla.

Las siguientes tablas ilustran las especificaciones y disposición de las zarandas implementadas durante la perforación de los pozos 1 y 2 implementando mallas planas, así como las condiciones de operación en las cuales trabajaron estos equipos.

**Tabla 1.** Información técnica de las zarandas FLC 503 implementadas en el pozo 1 perforado implementando mallas planas.

Equipo	Sección	Tipo de malla	Fuerza G	° Inclinación	API	Punto de corte (Micrones)	Conductancia (kD/mm)
FLC 503	12 ¼”	Malla Plana	6.7	4°- 5°	140	115	1.1
FLC 503	8 ½”	Malla Plana	6.7	2°- 3°	170	97	0.98

**Fuente:** elaboración propia, en base en RAMDE SOLIDS CONTROL, especificaciones de los equipos implementados, 2019.

**Tabla 2.** Datos operacionales de las zarandas FLC 503 en cada sección perforada del pozo 1 implementando mallas planas.

Sección	Profundidad inicial (Pies)	Profundidad final (Pies)	ROP Promedio (Pies / Hora)	Galonaje (Pies / Hora)
12 ¼"	4000	10100	60.6	950
8 ½"	10100	11801	31	700

**Fuente:** elaboración propia, en base en RAMDE SOLIDS CONTROL, Información operacional de las zarandas, 2019.

**Tabla 3.** Información técnica de las zarandas FLC 503 implementadas en el pozo 2 perforado implementando mallas planas.

Equipo	Sección	Tipo de malla	Fuerza G	° Inclinación	API	Punto de corte (Micrones)	Conductancia (kD/mm)
FLC 503	12 ¼"	Malla Plana	6.7	4°- 5°	140	115	1.1
FLC 503	8 ½"	Malla Plana	6.7	2°- 3°	170	97	0.98

**Fuente:** elaboración propia, en base en RAMDE SOLIDS CONTROL, especificaciones de los equipos implementados, 2019.

**Tabla 4.** Datos operacionales de las zarandas FLC 503 en cada sección perforada del pozo 2 implementando mallas planas.

Sección	Profundidad inicial (Pies)	Profundidad final (Pies)	ROP Promedio (Pies / Hora)	Galonaje (Pies / Hora)
12 ¼"	3404	8270	71	900
8 ½"	8270	9914	43.5	600-700

**Fuente:** elaboración propia, en base en RAMDE SOLIDS CONTROL, Información operacional de las zarandas, 2019.

Para el caso del pozo 3 que, a diferencia de los pozos 1 y 2 fue perforado implementando mallas piramidales plus, se trabajó la sección 12 ¼" en un intervalo de profundidad entre 3120 pies y 9190 pies, a una ROP promedio de 72.4 pies por hora, así mismo, se perforó la sección de 8 ½" desde 9190 pies hasta 10640 pies manejando una ROP de 44.1 pies por hora en promedio. Por otro lado, la sección de 12 ¼" del pozo 4 que, al igual que el pozo 3, fue perforado implementando mallas piramidales plus, se realizó entre 3550 y 8625 pies con una ROP registrada en 58.1 pies por hora promedio, de modo similar, la sección de 8 ½" de este pozo se perforó desde los 8625 pies hasta los 9787 pies, siendo perforado a 39.2 pies por hora como ROP promedio. A continuación, se ilustra esta información en las **tablas 5 y 6**. Es importante resaltar que se realizaron estas operaciones con las mismas zarandas y bajo las mismas condiciones que en los pozos 1 y 2.

**Tabla 5.** Datos operacionales de las zarandas FLC 503 en cada sección perforada del pozo 3 implementando mallas piramidales plus.

Sección	Profundidad inicial (Pies)	Profundidad final (Pies)	ROP Promedio (Pies / Hora)	Galonaje (Pies / Hora)
12 ¼"	3120	9190	72.4	950
8 ½"	9190	10640	43.1	550

**Fuente:** elaboración propia, en base en RAMDE SOLIDS CONTROL, Información operacional de las zarandas, 2019.

**Tabla 6.** Datos operacionales de las zarandas FLC 503 en cada sección perforada del pozo 4 implementando mallas piramidales plus.

Sección	Profundidad inicial (Pies)	Profundidad final (Pies)	ROP Promedio (Pies / Hora)	Galonaje (Pies / Hora)
12 ¼"	3550	8625	58.1	900-950
8 ½"	8625	9787	39.2	550-650

**Fuente:** elaboración propia, en base en RAMDE SOLIDS CONTROL, Información operacional de las zarandas, 2019.

**2.2.1. Toma de muestras.** Para tomar las muestras del fluido de perforación saliente de las zarandas, se tuvo en cuenta que el caudal saliente de cada uno de los cuatro pozos de este proyecto fue de entre 900 y 950 GPM para la sección de 12 ¼" y, para la sección de 8 ½", el caudal recibido del pozo fue de entre 550 y 700 GPM. Por esto, para obtener información y posteriormente resultados representativos, se tomaron de todas las zarandas un total de 10 muestras de fluido en cada uno de los cuatro pozos de este proyecto a condiciones de presión y temperatura de superficie.

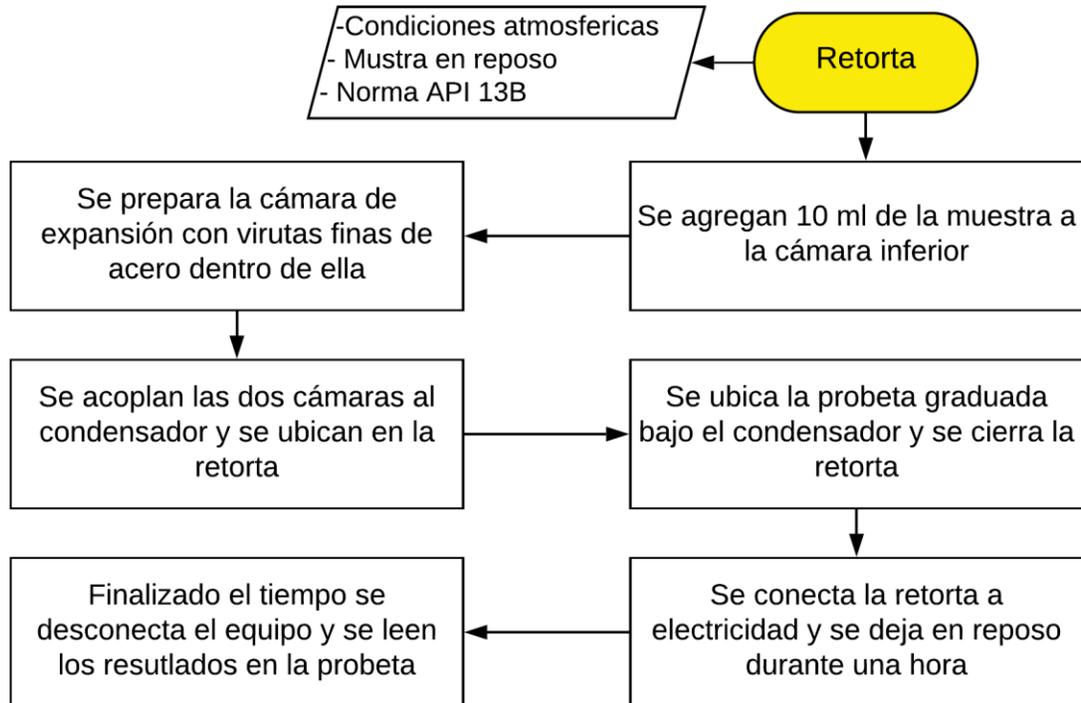
## **2.3 IMPLEMENTAR Y EVALUAR EL DESEMPEÑOS DE LAS MALLAS PLANAS Y DE LAS MALLAS PIRAMIDALES PLUS**

Una vez implementadas las correspondientes mallas en las operaciones como se mencionó en el apartado anterior es necesario evaluar su desempeño. Este se determinó mediante las pruebas de laboratorio especificadas anteriormente en el marco teórico y de las cuales se obtiene lo siguiente:

**2.3.1 Pruebas.** Para realizar las pruebas a las muestras de fluido tomadas de las zarandas, se tuvo en cuenta que tanto la prueba de densidad del fluido como la prueba de tamiz se realizan a las mismas condiciones de superficie, mientras que, para la prueba de contenido de sólidos y líquidos o retorta fue necesario incrementar la temperatura de las muestras. A continuación, se describirán detalladamente como se realizaron cada una de las pruebas.

### 2.3.1.1 Retorta.

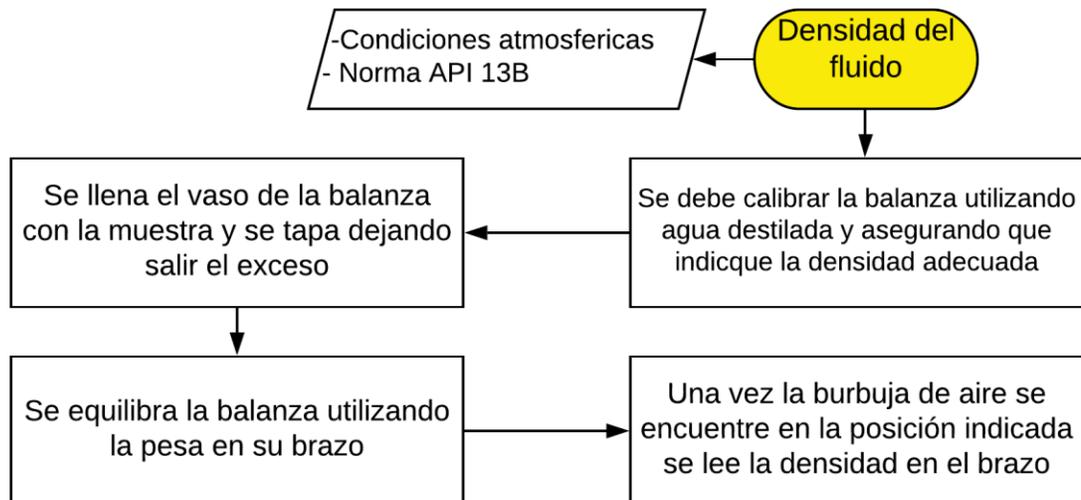
**Figura 13.** Procedimiento de la prueba de retorta



**Fuente.** Elaboración propia.

### 2.3.1.2 Densidad del fluido de perforación.

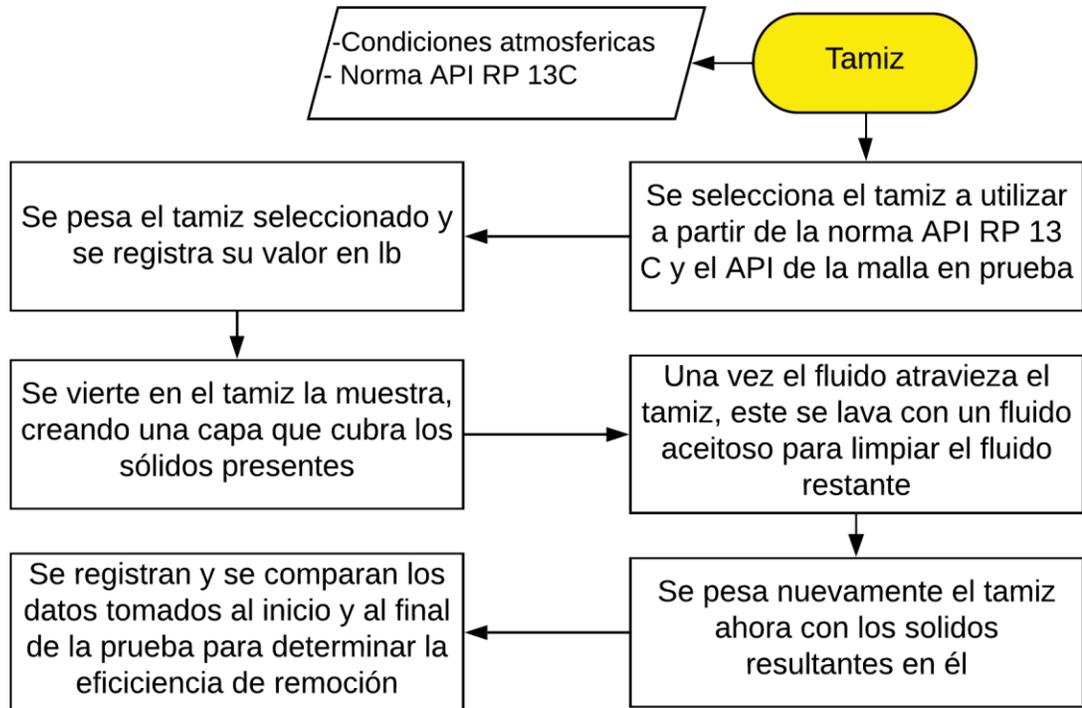
**Figura 14.** Procedimiento de la prueba de densidad del fluido.



**Fuente.** Elaboración propia.

### 2.3.1.3 Tamiz del fluido.

Figura 15. Procedimiento de la prueba de tamiz.



Fuente. Elaboración propia.

## 2.4 COMPARACION DEL DESEMPEÑO TECNICO Y FINANCIERO DE LAS MALLAS

Para un efectivo análisis de los resultados es necesario llevar a cabo un análisis técnico de las mallas implementadas para así determinar eficazmente su desempeño. Así como un análisis financiero para determinar la viabilidad económica al implementar tanto las mallas piramidales plus como las mallas planas.

**2.4.1 Análisis técnico.** Una vez organizada la información operativa de cada una de las operaciones de perforación realizadas durante este proyecto y los resultados de las pruebas tomadas a las muestras obtenidas de las zarandas FLC 503 durante la perforación de las secciones 12 ¼" y 8 ½" en cada uno de estos pozos, se procedió a analizar el desempeño de las mallas planas contra el desempeño de las mallas piramidales plus en 3 aspectos principalmente, el primero es el porcentaje de peso del fluido de perforación que la malla logra reducir después de que este la atraviese, en segundo lugar se comparó el porcentaje de remoción de sólidos de la

mallas y finalmente, se analizó el contenido de sólidos que permanece presente en el fluido una vez sale de la zaranda. Para esto, se realizaron graficas comparativas de los resultados en cada prueba para cada malla implementada y así, poder ver reflejado el desempeño de cada una al lado de la otra y de esta forma, llegar a una conclusión respecto a la viabilidad técnica de ambas mallas.

**2.4.2 Análisis financiero.** Con los datos recopilados a lo largo de este proyecto, se posee la información necesaria para evaluar la viabilidad financiera de cada tipo de malla evaluada previamente y así, determinar cuál de estas le representa a la compañía operadora un panorama más provechoso a largo plazo. Para realizar este análisis, se trabajó con dólares estadounidenses como unidad monetaria y para un horizonte temporal de 1 año, tiempo en el cual se pueden llevar a cabo 12 perforaciones en promedio en la Cuenca del Putumayo y, bajo la metodología del Valor Presente Neto teniendo en cuenta los costos operativos en cada uno de los pozos perforados en este proyecto, es decir que se realizó esta proyección de 12 meses para cada uno de los 4 pozos trabajados simulando en cada mes una perforación con las mismas condiciones del primer pozo de cada escenario, para finalmente comparar entre los escenarios en los cuales se implementan las mallas planas contra los escenarios con mallas piramidales plus y cuál de estos representa una mejor oportunidad financiera para la compañía.

El VPN es un indicador financiero que mide los flujos de los ingresos y egresos futuros que tendrá un proyecto, con el fin de determinar si al descontar la inversión inicial, el proyecto presenta un margen de ganancias positivo. Hallando el VPN de un proyecto de inversión, se puede determinar si dicho proyecto es viable o no. El VPN también nos permite comparar diferentes panoramas de un mismo proyecto y así, definir cuál de estos representa una mayor rentabilidad entre todas las opciones de inversión. La obtención del VPN constituye una herramienta fundamental para la evaluación y gerencia de proyectos, así como para la administración financiera. Para la realización de estos análisis se utilizó la ecuación matemática del VPN, que se ilustra a continuación.

**Ecuación 1.** Expresión matemática del Valor Presente Neto.

$$VPN(i) = \sum F_n(1+i)^{-n} = F_0 + F_1(1+i)^{-1} + F_2(1+i)^{-2} + \dots + F_n(1+i)^{-n}$$

**Fuente.** BACA C., Guillermo. Ingeniería Económica: Valor presente neto. Editorial educativa. Octava edición. 2005. P.197

Dónde:

- $i$  = Tasa de interés de oportunidad (TIO).
- $F$  = Flujos de caja en cada período.
- $n$  = Período de tiempo.

A partir de que la metodología que se utilizó para hacer este análisis es el VPN, se entiende que el resultado obtenido al calcularlo es el valor en dólares estadounidenses (USD) del proyecto a día de hoy.

La tasa interna de retorno o tasa interna de rentabilidad (TIR) de una inversión, está definida como la tasa de interés con la cual el valor presente neto (VPN) de una inversión será igual a cero ( $VPN = 0$ ). Es importante recordar que, el VPN es calculado a partir del flujo de caja, trasladando todas las cantidades futuras al presente o a su valor actual, aplicando una tasa de descuento.

Siendo así, este método considera que una inversión es viable si la TIR resultante es igual o superior a la tasa exigida por el inversor (tasa de descuento), y entre varias alternativas de esta inversión, al final la más conveniente será aquella que ofrezca una TIR mayor. Si la TIR es igual a la tasa de descuento, el inversionista es quien debe decidir entre realizar o no la inversión, por otro lado. Finalmente, si la TIR llega a ser menor que la tasa de descuento, el proyecto no va a ser una oportunidad rentable para el inversor.

**Ecuación 2.** Expresión matemática del Valor Presente Neto igualada a cero para calcular la TIR.

$$0 = \sum F_n(1 + TIR)^{-n} = F_0 + F_1(1 + TIR)^{-1} + F_2(1 + TIR)^{-2} + \dots + F_n(1 + TIR)^{-n}$$

**Fuente.** BACA C., Guillermo. Ingeniería Económica: Valor presente neto. Editorial educativa. Octava edición. 2005. Modificada por los autores

Dónde:

- TIR = Tasa interna de retorno.
- $F$  = Flujos de caja en cada período.
- $n$  = Período de tiempo.

La tasa de interés de oportunidad (TIO), es la tasa de interés máxima que el inversionista está dispuesto a sacrificar para llevar a cabo un proyecto. Para este proyecto se definió junto con Ramde Solids Control S.A.S. una TIO de 8% efectivo anual. Teniendo en cuenta que los periodos del proyecto son mensuales, y la tasa de interés de oportunidad es anual, esta se convirtió a periodos mensuales de la siguiente forma.

**Ecuación 3.** Expresión matemática de la tasa interna de oportunidad efectiva mensual

$$TIO \text{ efectiva mensual} = \sqrt[n]{(tasa \text{ mensual} + 1)} - 1$$

**Fuente.** BACA C., Guillermo. Ingeniería Económica: Valor presente neto. Editorial educativa. Octava edición. 2005. Modificada por los autores

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se va a establecer y organizar la información obtenida y relacionada con el desempeño de las mallas planas implementadas durante la perforación de dos pozos en las secciones 12 ¼" y 8 ½" realizadas en la Cuenca del Putumayo en una zona cercana a los dos pozos de estudio. Es importante resaltar que al llevar a cabo estos procedimientos se utilizaron las mismas Zarandas FLC 503 y el mismo fluido de perforación base aceite NAF.

#### 3.1 IMPLEMENTACIÓN Y DESEMPEÑO DE LAS MALLAS PLANAS DURANTE LA PERFORACIÓN DE DOS POZOS EN LA CUENCA DEL PUTUMAYO

Para evaluar el desempeño de las mallas planas durante la perforación de los primeros dos pozos perforados en la Cuenca del Putumayo durante este proyecto, se llevaron a cabo 3 pruebas al fluido teniendo en cuenta las condiciones de este a la entrada y a la salida de las shakers FLC 503 implementadas durante estas operaciones.

**3.1.1 Toma de muestras en el primer pozo.** Para tomar las muestras del fluido de perforación saliente de las zarandas durante la perforación del primer pozo en el que se implementaron mallas planas se tuvo en cuenta que, el caudal saliente de este pozo fue de 950 GPM y, por ende, cada zaranda recibió un caudal de 237.5 GPM, esto durante la perforación de la sección de 12 ¼", por otro lado, para la sección de 8 ½" se recibió en las zarandas un caudal de 700 GPM distribuido en 175 GPM para cada zaranda. Por esto, para obtener información y posteriormente resultados representativos, se tomaron entre todas las zarandas un total de 10 muestras de fluido para ambas secciones.

**3.1.2 Pruebas y resultados del primer pozo.** A partir de lo anterior, en los siguientes numerales, se encuentran los resultados de cada una de las pruebas realizadas a cada muestra tomada previamente en las zarandas y, para cada sección en la que se implementaron estos equipos durante la perforación del primer pozo cercano a los pozos de estudio que se tendrá en cuenta para este proyecto.

**3.1.2.1 Porcentaje de humedad en los recortes.** De las pruebas de retorta realizadas a las muestras tomadas en las zarandas en cada sección del primer pozo cercano a los pozos de estudio, se obtuvieron los porcentajes de humedad (agua y aceite) y sólidos presentes en cada una de ellas, de esta forma, las **tablas 7 y 8** a continuación ilustran los resultados obtenidos. Esta prueba es explicada a detalle en el numeral **1.6** del marco teórico.

**Tabla 7.** Resultados de la prueba de retorta para cada muestra tomada implementando las mallas planas en la sección 12 ¼” del pozo 1.

Muestra	Profundidad (Pies)	Formación	% Agua	% Aceite	% Sólido	% Área de secado
1	4100	Orito-Belén	22	28	50	10
2	4720	Orito-Belén	24	22	54	10
3	5640	Orito-Belén	20	26	54	10
4	5930	Orito-Belén	22	26	52	10
5	6340	Orito-Belén	18	32	50	10
6	6741	Orteguaza	26	28	46	10
7	7420	Pepino	22	26	52	15
8	8023	Middle Pepino	22	26	52	15
9	9120	Lower Pepino	22	28	50	15
10	9830	Rumiyaco	24	22	54	15

**Fuente:** elaboración propia, en base en RAMDE SOLIDS CONTROL, resultados de las pruebas realizadas a las muestras tomadas de la sección 12 ¼”, 2019.

**Tabla 8.** Resultados de la prueba de retorta para cada muestra tomada implementando las mallas planas en la sección 8 ½” del pozo 1.

Muestra	Profundidad (Pies)	Formación	% Agua	% Aceite	% Sólido	% Área de secado
1	10170	N-Sand	22	26	52	30
2	10270	Villeta	24	28	48	30
3	10401	Villeta	24	28	48	30
4	10520	Villeta	26	28	46	30
5	10743	Villeta	24	26	50	30
6	10903	Villeta	26	26	48	30
7	11104	Villeta	20	28	52	30
8	11275	Villeta	24	28	48	30
9	11420	Villeta	24	28	48	30
10	11630	Villeta	26	28	46	30

**Fuente:** elaboración propia, en base en RAMDE SOLIDS CONTROL, resultados de las pruebas realizadas a las muestras tomadas de la sección 8 ½”, 2019.

De las tablas observadas anteriormente, se puede destacar que el porcentaje de agua presente en la sección de 12 ¼” del primer pozo cercano a los pozos de

estudio varía entre 18% y 26%, dejando como promedio un porcentaje de humedad o carga líquida del 22%. Por otro lado, el porcentaje de sólidos en esta sección se mantiene entre el 46% y 54%, es decir, en promedio se observa para esta sección un 50% de presencia de sólidos.

Para el caso de la sección 8 ½", se puede observar que el porcentaje de agua registrado en la prueba de retorta fue del 22 % hasta el 26%, dando así un promedio de humedad o carga líquida de 24% en las muestras tomadas. De la misma forma, se registró un rango de sólidos presentes en las muestras tomadas que varía desde el 46% hasta el 52%, resultando en un promedio del 49%. Estos rangos obtenidos en las pruebas realizadas a las muestras denotan un comportamiento común en el fluido de perforación al implementar mallas planas.

**3.1.2.2 Área de secado.** Esta propiedad mide la superficie de la malla que el fluido no ocupa. Luego de observar los resultados en las **tablas 7 y 8**, se puede concluir que, el porcentaje de área de secado de las mallas planas en promedio durante la sección 12 ¼" es del 12.5%, mientras que para la sección de 8 ½", se registró un porcentaje de área de secado promedio del 30%. Es válido resaltar que, esto es bastante común en este tipo de malla debido a la geometría de su diseño. Esta propiedad es obtenida mediante la siguiente expresión matemática.

**Ecuación 4.** Expresión matemática para la determinación del área de secado

$$\%Area\ de\ Secado = 100\% - \left( \frac{Longitud\ libre\ de\ fluido}{Longitud\ total} * 100 \right)$$

**3.1.2.3 Densidad del fluido de perforación.** A continuación, se muestra en las **tablas 9 y 10** los valores obtenidos de las pruebas de densidad tomadas al fluido de perforación para cada sección del primer pozo perforado en una zona cercana la zona de estudio, en el momento en que este entra a la zaranda y, de la misma forma, la densidad medida a la hora de salir del equipo, tanto del fluido recuperado como de los recortes separados del fluido de perforación. Esta prueba se explica detalladamente en el numeral **1.5** del marco teórico.

**Tabla 9.** Resultados de la prueba de densidad del fluido aplicada a las muestras tomadas implementando mallas planas en la sección 12 ¼”.

Muestra	Profundidad (Pies)	Peso del fluido de entrada (Libras/Galones)	Peso del fluido de salida (Libras/Galones)	Peso de la descarga sólida (Libras/Galones)
1	4100	12	11.9	16
2	4720	12.1	12	16.1
3	5640	12.1	12	16.1
4	5930	12.1	12	16.1
5	6340	12.2	12.1	16.1
6	6741	12.2	12.1	16.2
7	7420	12.3	12.2	16.1
8	8023	12.4	12.3	16.1
9	9120	12.5	12.4	16.1
10	9830	12.5	12.4	16.1

**Fuente:** elaboración propia, en base en RAMDE SOLIDS CONTROL, pesos tomados de las pruebas de densidad en la sección 12 ¼”, 2019.

**Tabla 10.** Resultados de la prueba de densidad del fluido aplicada a las muestras tomadas implementando mallas planas en la sección 8 ½”.

Muestra	Profundidad (Pies)	Peso del fluido de entrada (Libras/Galones)	Peso del fluido de salida (Libras/Galones)	Peso de la descarga sólida (Libras/Galones)
1	10170	13.3	13.2	16
2	10270	13.3	13.2	16.2
3	10401	13.3	13.2	16.2
4	10520	13.3	13.2	16.2
5	10743	13.3	13.2	16.1
6	10903	13.3	13.1	16.1
7	11104	13.3	13.2	16.2
8	11275	13.3	13.2	16.2
9	11420	13.3	13.1	16.1
10	11630	13.3	13.2	16.2

**Fuente:** elaboración propia, en base en RAMDE SOLIDS CONTROL, pesos tomados de las pruebas de densidad en la sección 8 ½”, 2019.

A partir de los resultados de las pruebas realizadas a las muestras tomadas, vale la pena resaltar que durante la perforación de la sección de 12 ¼” con las mallas planas se observa una reducción en la densidad del fluido de perforación de un 0.82%, por otro lado, durante la perforación de la sección de 8 ½” se registró una reducción de esta propiedad del fluido en un 0.91 % implementando el mismo diseño de malla plana. Estos valores por debajo del 1 % son normales para este tipo de malla plana puesto que su geometría ofrece una limitada capacidad de separación de sólidos presentes en el fluido de perforación y debido a esto, una gran parte de ellos permanece en el fluido después de atravesar la malla.

**3.1.2.4 Eficiencia de la remoción de sólidos.** Una vez los resultados de la variación de densidades del fluido de perforación son obtenidos, se puede realizar la prueba de tamiz y obtener de esta la eficiencia de la remoción de sólidos de las mallas planas implementadas. En las **tablas 11** y **12** se pueden observar los resultados de la prueba de tamiz del fluido de perforación de la eficiencia de la remoción de sólidos.

**Tabla 11.** Porcentaje de eficiencia de remoción de sólidos de las mallas planas en la sección 12 ¼”.

Muestra	Profundidad (Pies)	% eficiencia de remoción de sólidos
1	4100	59.8
2	4720	58.1
3	5640	59.1
4	5930	58.5
5	6340	58.5
6	6741	59.1
7	7420	59.8
8	8023	60.4
9	9120	58.7
10	9830	58.7

**Fuente:** elaboración propia, en base en RAMDE SOLIDS CONTROL, porcentaje de eficiencia de remoción de sólidos en la sección de 12 ¼”, 2019.

**Tabla 12.** Porcentaje de eficiencia de remoción de sólidos de las mallas planas en la sección 8 ½”.

Muestra	Profundidad (Pies)	% eficiencia de remoción de sólidos
1	10170	60.4
2	10270	60.4
3	10401	61.2
4	10520	61.3
5	10743	61.3
6	10903	60.3
7	11104	59.8
8	11275	59.5
9	11420	57.4
10	11630	57.4

**Fuente:** elaboración propia, en base en RAMDE SOLIDS CONTROL, porcentaje de eficiencia de remoción de sólidos en la sección de 8 ½”, 2019.

A partir de los resultados de la prueba de tamiz del fluido, se destaca que en promedio las mallas planas en el sistema de control de sólidos primario tuvieron una eficiencia del 59.07 % durante la perforación de la sección de 12 ¼”, mientras que, para la sección de 8 ½” el promedio de eficiencia se registró en 59.9 %, lo que significa que después de atravesar las shakers FLC 503, el fluido de perforación aún tiene inmerso en él poco menos de la mitad de los sólidos presentes en él antes de entrar al equipo.

**3.1.3 Mallas utilizadas en el pozo 1.** Para cumplir exitosamente con la perforación de la sección de 12 ¼” del primer pozo aledaño a los de estudio se requirieron 42 mallas planas de API 140. Esto teniendo en cuenta que para realizar estas operaciones se implementaron 4 zarandas FLC 503 y en estas, 12 mallas planas repartidas en grupos de a tres mallas por zaranda, lo que al finalizar la sección dio un total de 42 mallas planas necesarias para llevar a cabo la totalidad de esta sección en el pozo.

**Tabla 13.** Datos operativos de las mallas planas durante la sección 12 ¼”.

API	Punto de corte	Tipo de malla	Pies perforados	Mallas utilizadas	Horas promedio de las mallas
140	115	Malla Plana	6100	42	120

**Fuente:** elaboración propia, en base en RAMDE SOLIDS CONTROL, cantidad de mallas implementadas en la sección de 12 ¼” para el primer pozo aledaño a los de estudio, 2019.

**Tabla 14.** Datos operativos de las mallas planas durante la sección 8 ½”.

API	Punto de corte	Tipo de malla	Pies perforados	Mallas utilizadas	Horas promedio de las mallas
170	97	Malla Plana	1701	16	109

**Fuente:** elaboración propia, en base en RAMDE SOLIDS CONTROL, cantidad de mallas implementadas en la sección de 8 ½” para el primer pozo aledaño a los de estudio, 2019.

Así mismo, durante la perforación de la sección de 8 ½” del primer pozo perforado de este proyecto, se requirieron 16 mallas planas de API 170, repartidas en las mismas 4 zarandas FLC 503 de la misma forma en 3 mallas por cada zaranda

**3.1.4 Toma de muestras en el segundo pozo.** Para tomar las muestras del fluido de perforación saliente de las zarandas se tuvo en cuenta que el caudal saliente del pozo fue de 900 GPM y, por ende, cada zaranda recibió un caudal de 225 GPM durante la perforación de la sección 12 ¼”, mientras que para la perforación de la sección de 8 ½” se recibieron del pozo de 600 a 700 GPM, resultando en un galonaje por zaranda de 150 a 175 GPM. Con el fin de obtener información y posteriormente resultados representativos, se tomaron de todas las zarandas un total de 10 muestras de fluido en ambas secciones perforadas.

**3.1.5 Pruebas y resultados del pozo 2.** En los siguientes numerales, se encuentran los resultados de cada una de las pruebas realizadas a cada muestra tomada previamente en las zarandas y, para cada sección en la que se implementaron estos equipos durante la perforación del segundo pozo perforado cerca a los pozos de estudio que se tendrá en cuenta para este proyecto.

**3.1.5.1 Porcentaje de humedad en los recortes.** De las pruebas de retorta realizadas a las muestras tomadas en las zarandas en cada sección del segundo pozo cercano a los pozos de estudio, se obtuvieron los porcentajes de humedad (agua y aceite) y sólidos presentes en cada una de ellas, de esta forma, las **tablas 15 y 16** a continuación ilustran los resultados obtenidos. Esta prueba es explicada a detalle en el numeral **1.6** del marco teórico.

**Tabla 15.** Resultados de la prueba de retorta para cada muestra tomada implementando las mallas planas en la sección 12 ¼” del pozo 2.

Muestra	Profundidad (Pies)	Formación	% Agua	% Aceite	% Sólido	% Área de secado
1	3450	Orito-Belén	24	26	50	10 - 15
2	3980	Orito-Belén	22	22	56	10 – 15
3	4480	Orteguaza	24	24	52	10 – 15
4	4912	Orteguaza	22	24	54	10 – 15
5	5715	Orteguaza	20	28	52	10 – 15
6	6452	Upper Pepino	18	28	54	10 – 15
7	6917	Middle Pepino	20	26	54	10 – 15
8	7380	Middle Pepino	24	28	48	10 – 15
9	7790	Lower Pepino	22	28	50	10 – 15
10	8145	Rumiyaco	24	24	52	10 - 15

**Fuente:** elaboración propia, en base en RAMDE SOLIDS CONTROL, resultados de las pruebas realizadas a las muestras tomadas de la sección 12 ¼”, 2019.

**Tabla 16.** Resultados de la prueba de retorta para cada muestra tomada implementando las mallas planas en la sección 8 ½” del pozo 2.

Muestra	Profundidad (Pies)	Formación	% Agua	% Aceite	% Sólido	% Área de secado
1	8310	N-Sand	22	28	50	25 – 35
2	8451	Villeta 1	22	26	52	25 – 35
3	8525	Villeta	26	28	46	25 – 35
4	8716	Villeta	24	26	50	25 – 35
5	8910	Villeta Caliza	24	24	52	25 – 35
6	9152	Villeta Caliza	22	24	54	25 – 35
7	9325	Villeta Caliza	26	26	48	25 – 35
8	9478	Villeta Caliza	24	26	50	25 – 35
9	9651	Caballos	24	26	50	25 – 35
10	9843	Basamento	22	28	50	25 – 35

**Fuente:** elaboración propia, en base en RAMDE SOLIDS CONTROL, resultados de las pruebas realizadas a las muestras tomadas de la sección 8 ½”, 2019.

De las tablas observadas anteriormente, se puede destacar que el porcentaje de agua presente en la sección de 12 ¼” del segundo pozo cercano a los pozos de estudio varía entre 18% y 24%, dejando como promedio un porcentaje de humedad o carga líquida del 21%. Por otro lado, el porcentaje de sólidos en esta sección se mantiene entre el 48% y 56%, es decir, en promedio se observa para esta sección un 52% de presencia de sólidos.

Para el caso de la sección 8 ½”, se puede observar que el porcentaje de agua registrado en la prueba de retorta fue del 22 % hasta el 26%, dando así un promedio de humedad o carga líquida de 24% en las muestras tomadas. De la misma forma, se registró un rango de sólidos presentes en las muestras tomadas que varía desde el 46% hasta el 54%, resultando en un promedio del 50%. Estos rangos obtenidos en las pruebas realizadas a las muestras denotan un comportamiento común en el fluido de perforación al implementar mallas planas.

**3.1.5.2 Área de secado.** A partir de los resultados ilustrados en las **tablas 15** y **16**, se puede concluir que, el porcentaje de área de secado de las mallas planas en promedio durante la sección 12 ¼” del segundo pozo es del 12.5%, mientras que para la sección de 8 ½”, se registró un porcentaje de área de secado promedio del 30%, de ahí que, es bastante común encontrar estas tendencias en el área de secado en este tipo de mallas gracias a la geometría de su diseño. Este parámetro es obtenido a partir de la siguiente expresión matemática.

**3.1.5.3 Densidad del fluido de perforación.** A continuación, se muestra en las **tablas 17 y 18** los valores obtenidos de las pruebas de densidad tomadas al fluido de perforación para cada sección del segundo pozo perforado en una zona cercana la zona de estudio, en el momento en que este entra a la zaranda y, de la misma forma, la densidad medida a la hora de salir del equipo, tanto del fluido recuperado como de los recortes separados del fluido de perforación. Esta prueba se explica detalladamente en el numeral **1.5** del marco teórico.

**Tabla 17.** Resultados de la prueba de densidad del fluido aplicada a las muestras tomadas implementando mallas planas en la sección 12 ¼”.

Muestra	Profundidad (Pies)	Peso del fluido de entrada (Libras/Galones)	Peso del fluido de salida (Libras/Galones)	Peso de la descarga sólida (Libras/Galones)
1	3450	11.5	11.4+	16
2	3980	11.5	11.4	16.1
3	4480	11.6	11.5+	16.1
4	4912	11.6	11.5	16.1
5	5715	11.6	11.5	16.1
6	6452	11.7	11.5	16.2
7	6917	11.7	11.6	16.1
8	7380	11.8	11.7	16.1
9	7790	11.8	11.7	16.1
10	8145	11.9	11.8	16.1

**Fuente:** elaboración propia, en base en RAMDE SOLIDS CONTROL, pesos tomados de las pruebas de densidad en la sección 12 ¼”, 2019.

**Tabla 18.** Resultados de la prueba de densidad del fluido aplicada a las muestras tomadas implementando mallas planas en la sección 8 ½”.

Muestra	Profundidad (Pies)	Peso del fluido de entrada (Libras/Galones)	Peso del fluido de salida (Libras/Galones)	Peso de la descarga sólida (Libras/Galones)
1	8310	12.8	12.7	16.8
2	8451	12.8+	12.7+	16.8
3	8525	12.8+	12.7+	16.8
4	8716	12.8+	12.7	16.7
5	8910	12.8+	12.7	16.8
6	9152	12.8+	12.7	17.1
7	9325	12.8+	12.6+	17
8	9478	12.9	12.7	17.1
9	9651	12.9	12.8	16.8
10	9843	12.9	12.8	17.2

**Fuente:** elaboración propia, en base en RAMDE SOLIDS CONTROL, pesos tomados de las pruebas de densidad en la sección 8 ½”, 2019.

De los resultados de las pruebas realizadas a las muestras tomadas, vale la pena resaltar que durante la perforación de la sección de 12 ¼” con las mallas planas se observa una reducción en la densidad del fluido de perforación de un 0.95 %, por otro lado, durante la perforación de la sección de 8 ½” se registró una reducción de esta propiedad del fluido en un 0.94% implementando el mismo diseño de malla plana. Estos resultados son comunes a la hora de implementar este tipo de mallas en las shakers debido a que la geometría de la malla no logra remover eficientemente los sólidos presentes en el fluido, lo que genera costos adicionales en procesos adicionales para reacondicionar el fluido de perforación.

**3.1.5.4 Eficiencia de la remoción de sólidos.** Ahora que los datos de la variación de densidades del fluido de perforación fueron obtenidos, se puede obtener la eficiencia de la remoción de sólidos de las mallas planas implementadas en las shakers FLC 503 en el tercer pozo de este proyecto. En las **tablas 19 y 20** se ilustran los resultados de la prueba de tamiz del fluido de perforación de la eficiencia de la remoción de sólidos.

**Tabla 19.** Porcentaje de eficiencia de remoción de sólidos de las mallas planas en la sección 12 ¼”.

Muestra	Profundidad (Pies)	% eficiencia de remoción de sólidos
1	3450	62.6
2	3980	63.4
3	4480	61.2
4	4912	61.2
5	5715	64.2
6	6452	59.8
7	6917	59.8
8	7380	59.8
9	7790	62.6
10	8145	63.4

**Fuente:** elaboración propia, en base en RAMDE SOLIDS CONTROL, porcentaje de eficiencia de remoción de sólidos en la sección de 12 ¼”, 2019.

**Tabla 20.** Porcentaje de eficiencia de remoción de sólidos de las mallas planas en la sección 8 ½”.

Muestra	Profundidad (Pies)	% eficiencia de remoción de sólidos
1	8310	60.2
2	8451	59.8
3	8525	60.4
4	8716	60.1
5	8910	59.8
6	9152	59.8
7	9325	59.1
8	9478	59.1
9	9651	60.2
10	9843	61.4

**Fuente:** elaboración propia, en base en RAMDE SOLIDS CONTROL, porcentaje de eficiencia de remoción de sólidos en la sección de 8 ½”, 2019.

Para la prueba de tamiz realizada en la perforación del segundo pozo de este proyecto se obtuvo que el promedio de eficiencia al utilizar las mallas planas en el sistema de control de sólidos primario es de 61.8 % para la sección de 12 ¼”, mientras que para la sección de 8 ½” el promedio de eficiencia es de 59.99 %. Este resultado tiene bastante similitud con el obtenido en la prueba de tamiz del primer pozo, lo que empieza a reflejar una tendencia en este tipo de mallas en que su capacidad de remoción de sólidos es apenas un poco más de la mitad de los sólidos presentes en el fluido de perforación que ingresa a las Shakers FLC 503.

**3.1.6 Mallas utilizadas.** Para cumplir exitosamente con la perforación de la sección de 12 ¼” del segundo pozo aledaño a los de estudio se requirieron 42 mallas planas de API 140. Esto teniendo en cuenta que para realizar estas operaciones se implementaron 4 zarandas FLC 503 y en estas, 12 mallas planas repartidas en grupos de a tres mallas por zaranda, lo que al finalizar la sección dio un total de 42 mallas planas necesarias para llevar a cabo la totalidad de esta sección en el pozo.

**Tabla 21.** Datos operativos de las mallas planas durante la sección 12 ¼”.

API	Punto de corte	Tipo de malla	Pies perforados	Mallas utilizadas	Horas promedio de las mallas
140	115	Malla Plana	4866	42	122

**Fuente:** elaboración propia, en base en RAMDE SOLIDS CONTROL, cantidad de mallas implementadas en la sección de 12 ¼” para el segundo pozo aledaño a los de estudio, 2019.

**Tabla 22.** Datos operativos de las mallas planas durante la sección 8 ½”.

API	Punto de corte	Tipo de malla	Pies perforados	Mallas utilizadas	Horas promedio de las mallas
170	97	Malla Plana	1644	18	96

**Fuente:** elaboración propia, en base en RAMDE SOLIDS CONTROL, cantidad de mallas implementadas en la sección de 8 ½” para el segundo pozo aledaño a los de estudio, 2019.

Por otro lado, para llevar a cabo la perforación de la sección de 8 ½” en el segundo pozo de este proyecto se requirieron 18 mallas planas de API 170, repartidas en las mismas 4 zarandas FLC 503 de la misma forma en 3 mallas por cada zaranda.

### **3.2 IMPLEMENTACIÓN Y DESEMPEÑO DE LAS MALLAS PIRAMIDALES PLUS DURANTE LA PERFORACIÓN DE DOS POZOS EN LA CUENCA DEL PUTUMAYO**

De la misma forma que con las mallas planas, en los siguientes numerales se va a establecer y organizar la información obtenida y relacionada con el desempeño de las mallas piramidales plus implementadas durante la perforación de las secciones 12 ¼” y 8 ½” de dos pozos realizadas en la Cuenca del Putumayo. Vale la pena recordar que, al llevar a cabo estos procedimientos se utilizaron el mismo modelo de Zarandas FLC 503 y el mismo tipo de fluido de perforación base aceite NAF con el que se trabajó en las dos perforaciones previas.

**3.2.1 Toma de muestras en el tercer pozo.** Para tomar las muestras del fluido de perforación saliente de las zarandas que se implementaron en los pozos de estudio y trabajaron con mallas piramidales plus se tuvo en cuenta que el caudal saliente del pozo durante la sección de 12 ¼” fue de 950 GPM y, por ende, cada una de las 4 zarandas recibió un caudal de 237.5 GPM, Por otro lado, para la sección de 8 ½” se registró un caudal saliente del pozo de 550 GPM, por lo cual las zarandas recibieron durante esta sección 137.5 GPM cada una. Siendo así, para obtener información y posteriormente resultados representativos, se tomaron de cada zaranda 10 muestras de fluido en ambas secciones.

**3.2.2 Pruebas y resultados en el tercer pozo.** En los siguientes numerales, se encuentran los resultados de las pruebas realizadas a cada muestra tomada previamente de las zarandas que trabajaron con mallas piramidales plus, tanto para la sección de 12 ¼” como para la de 8 ½” del primer pozo de estudio de este proyecto.

**3.2.2.1 Porcentaje de humedad en los recortes.** De las pruebas de retorta realizadas a las muestras tomadas en las zarandas en cada sección que se perforó implementando mallas piramidales plus, se obtuvieron los porcentajes de humedad (agua y aceite) y sólidos presentes en cada una de ellas, de esta forma, las **tablas 23 y 24** a continuación ilustran los resultados obtenidos. Esta prueba es explicada a detalle en el numeral **1.6** del marco teórico.

**Tabla 23.** Resultados de la prueba de retorta aplicada a las muestras tomadas de los equipos implementando mallas piramidales plus en la sección 12 ¼” en el pozo 3.

Muestra	Profundidad (Pies)	Formación	% Agua	% Aceite	% Sólido	% Área de secado
1	3171	Orito-Belen	16	20	64	30%-40%
2	3952	Orito-Belen	20	24	56	30%-40%
3	4825	Orito-Belen	16	20	64	30%-40%
4	5155	Orito-Belen	20	22	58	30%-40%
5	5948	Orito-Belen	16	18	66	30%-40%
6	6698	Orteguaza	16	16	68	30%-40%
7	7285	Pepino	16	16	68	30%-40%
8	8056	Pepino	12	20	68	30%-40%
9	8559	Pepino	18	26	56	30%-40%
10	9006	Rumiyaco	18	22	60	30%-40%

**Fuente:** elaboración propia, en base en RAMDE SOLIDS CONTROL, resultados de las pruebas realizadas a las muestras tomadas de la sección 12 ¼”, 2020.

**Tabla 24.** Resultados de la prueba de retorta aplicada a las muestras tomadas de los equipos implementando mallas piramidales plus en la sección 8 ½" en el pozo 3.

Muestra	Profundidad (Pies)	Formación	% Agua	% Aceite	% Sólido	% Área de secado
1	9250	N-Sand	18	22	60	50%
2	9350	Villeta	20	24	56	50%
3	9441	Villeta	22	22	56	50%
4	9625	Villeta	18	22	60	50%
5	9771	Villeta Caliza	16	20	64	50%
6	9920	Villeta Caliza	18	20	62	50%
7	10125	Villeta Caliza	20	22	58	50%
8	10364	Villeta Caliza	20	24	56	50%
9	10445	Caballos	20	20	60	50%
10	10600	Caballos	20	24	56	50%

**Fuente:** elaboración propia, en base en RAMDE SOLIDS CONTROL, resultados de las pruebas realizadas a las muestras tomadas de la sección 8 ½", 2020.

De las tablas observadas anteriormente, se puede destacar que el porcentaje de agua presente en la sección de 12 ¼" del tercer pozo perforado para este proyecto y el primero en ser perforado implementando mallas piramidales plus varía entre 12% y 20%, dejando como promedio un porcentaje de humedad o carga líquida del 16%. Por otro lado, el porcentaje de sólidos en esta sección se mantiene entre el 56% y 68%, es decir, se observa para esta sección un 62% de presencia de sólidos en promedio.

Para el caso de la sección 8 ½", se puede observar que el porcentaje de agua en la prueba de retorta se registró del 16 % hasta el 20%, dando así un promedio de humedad o carga líquida de 18% en las muestras tomadas. De la misma forma, se registró un rango de sólidos presentes en las muestras tomadas que varía desde el 56% hasta el 60%, resultando en un promedio del 58%. Estos rangos obtenidos en las pruebas realizadas a las muestras denotan un comportamiento común en el fluido de perforación al implementar las mallas piramidales debido a que el porcentaje de sólidos registrado llega hasta valores del 60% y, en el caso del agua observada, es un porcentaje bajo.

**3.2.2.2 Área de secado.** Además de los porcentajes de aceite, agua y sólidos ilustrados en las **tablas 23 y 24**, el porcentaje de área de secado de las mallas piramidales plus en promedio durante la sección 12 ¼" del tercer pozo es del 35%, mientras que para la sección de 8 ½", se registró un porcentaje de área de secado promedio del 50%. Estos resultados son gracias a la geometría innovadora y las propiedades de las mallas piramidales plus que, debido a su diseño, logran estos resultados sobresalientes a la hora de trabajar con este tipo de fluido de perforación. Esta propiedad es obtenida mediante la siguiente expresión matemática.

**Ecuación 5.** Expresión matemática para la determinación del área de secado

$$\% \text{Área de Secado} = 100\% - \left( \frac{\text{Longitud libre de fluido}}{\text{Longitud total}} * 100 \right)$$

**3.2.2.3 Densidad del fluido de perforación.** A continuación, se muestra en las **tablas 25 y 26** los valores obtenidos de las pruebas de densidad tomadas al fluido para cada sección perforada en el tercer pozo de este proyecto y el primero implementando mallas piramidales plus en el momento que entra a la zaranda, de la misma forma, la densidad medida a la hora de salir del equipo, tanto del fluido recuperado como de los recortes separados del fluido. Esta prueba se explica detalladamente en el numeral **1.5** del marco teórico

**Tabla 25.** Resultados de la prueba de densidad aplicada a las muestras tomadas de los equipos implementando mallas piramidales plus en la sección 12 ¼" en el pozo 3.

Muestra	Profundidad (Pies)	Peso del fluido de entrada (Libras/Galones)	Peso del fluido de salida (Libras/Galones)	Peso de la descarga sólida (Libras/Galones)
1	3171	11,6	11,5	15,8
2	3952	11,8	11,6+	16,1
3	4825	12	11,8+	16,3
4	5155	12,1	12	16,4
5	5948	12,1	12	16,4
6	6698	12,1	11,9	16,5
7	7285	12,1	11,9+	16,5
8	8056	12,1	11,9+	16,6
9	8559	12,2	12	16,6
10	9006	12,2	12	16,6

**Fuente:** elaboración propia, en base en RAMDE SOLIDS CONTROL, pesos tomados de las pruebas de densidad en la sección 12 ¼", 2020.

**Tabla 26.** Resultados de la prueba de densidad aplicada a las muestras tomadas de los equipos implementando mallas piramidales plus en la sección 8 ½” en el pozo 3.

Muestra	Profundidad (Pies)	Peso del fluido de entrada (Libras/Galones)	Peso del fluido de salida (Libras/Galones)	Peso de la descarga sólida (Libras/Galones)
1	9250	13	12,9+	15,8
2	9350	13	12,9	15,8
3	9441	13	12,8+	16,1
4	9625	13,1	12,9	16,3
5	9771	13,1	12,9+	16,4
6	9920	13,1+	12,9+	16,3
7	10125	13,1	13	16,5
8	10364	13,1+	13	16,4
9	10445	13,1	13	16,3
10	10600	13,1+	13,0+	16,2

**Fuente:** elaboración propia, en base en RAMDE SOLIDS CONTROL, pesos tomados de las pruebas de densidad en la sección 8 ½”, 2020.

A partir de los resultados de las pruebas realizadas a las muestras tomadas, vale la pena resaltar que durante la perforación de la sección de 12 ¼” con las mallas piramidales plus se observa una reducción en la densidad del fluido de perforación de un 1.43%, por otro lado, durante la perforación de la sección de 8 ½” se registró una reducción de esta propiedad del fluido en un 1.08% implementando el mismo diseño de malla piramidal plus, lo que para ambas secciones representa una reducción importante del peso del fluido de perforación y cuya importancia se puede ver reflejada en costos y tiempo de procesos posteriores necesarios para reacondicionar el fluido a las condiciones deseadas.

**3.2.2.4 Eficiencia de la remoción de sólidos.** Una vez los resultados de la variación de densidades antes y después de pasar por las shakers son obtenidos, se puede calcular la eficiencia de la remoción de sólidos de las mallas piramidales plus implementadas en la perforación de las secciones 12 ¼” y 8 ½” del tercer pozo del proyecto. En las **tablas 27 y 28** se ilustran los resultados del cálculo de la eficiencia de la remoción de sólidos durante estas secciones.

**Tabla 27.** Porcentajes de la eficiencia de remoción de sólidos de cada muestra tomada implementando mallas piramidales plus en la sección 12 ¼”.

Muestra	Profundidad (Pies)	% eficiencia de remoción de sólidos
1	3171	71.4
2	3952	71.8
3	4825	70.4
4	5155	72.1
5	5948	71.4
6	6698	70.8
7	7285	70.8
8	8056	71.4
9	8559	71.4
10	9006	72.1

**Fuente:** elaboración propia, en base en RAMDE SOLIDS CONTROL, porcentaje de eficiencia de remoción de sólidos en la sección de 12 ¼”, 2020.

**Tabla 28.** Porcentajes de la eficiencia de remoción de sólidos de cada muestra tomada implementando mallas piramidales plus en la sección 8 ½”.

Muestra	Profundidad (Pies)	% eficiencia de remoción de sólidos
1	9250	69.1
2	9350	72.3
3	9441	72.4
4	9625	72.4
5	9771	74.5
6	9920	74.5
7	10125	71.2
8	10364	71.2
9	10445	69.8
10	10600	69.8

**Fuente:** elaboración propia, en base en RAMDE SOLIDS CONTROL, porcentaje de eficiencia de remoción de sólidos en la sección de 8 ½”, 2020.

Para la prueba de tamiz del fluido en el tercer pozo perforado en este proyecto, el promedio de eficiencia de remoción de sólidos al utilizar las mallas piramidales plus en el sistema de control de sólidos primario incrementa en una gran proporción a comparación de los resultados de las pruebas anteriores, llegando a un valor de 71.36 % para la sección de 12 ¼”, de la misma forma, los resultados obtenidos durante la perforación de la sección de 8 ½” se registraron en un promedio de 71.72%, lo que de entrada ya refleja un porcentaje mucho menor de sólidos presentes en el fluido una vez este atraviesa las shaker FLC 503,

**3.2.3 Mallas utilizadas.** Para cumplir exitosamente con la perforación de la sección de 12 ¼” del tercer pozo de estudio se requirieron 20 mallas piramidales plus. Esto teniendo en cuenta que para realizar estas operaciones se implementaron 4 zarandas FLC 503 y en estas, 12 mallas piramidales plus repartidas en grupos de tres mallas por zaranda.

**Tabla 29.** Datos operativos de las mallas piramidales plus implementadas durante la sección 12 ¼” en el pozo 3.

API	Punto de corte	Tipo de malla	Pies perforados	Mallas utilizadas	Horas promedio de las mallas
140	115	Malla Piramidal Plus	6070	20	312

**Fuente:** elaboración propia, en base en RAMDE SOLIDS CONTROL, cantidad de mallas implementadas en la sección de 12 ¼” para cada pozo, 2020.

Al igual que para la sección de 12 ¼”, se contabilizaron las mallas piramidales plus necesarias para perforar la sección de 8 ½”, dando así un total de 12 mallas piramidales plus. Estas mallas fueron repartidas en grupos de a 3 mallas por cada zaranda, con un total de 4.

**Tabla 30.** Datos operativos de las mallas piramidales plus implementadas durante la sección 8 ½”.

API	Punto de corte	Tipo de malla	Pies perforados	Mallas utilizadas	Horas promedio de las mallas
170	97	Malla piramidal Plus	1450	12	156

**Fuente:** elaboración propia, en base en RAMDE SOLIDS CONTROL, cantidad de mallas implementadas en la sección de 8 ½” para cada pozo, 2020.

**3.2.4 Toma de muestras en el pozo 4.** Para tomar las muestras del fluido de perforación saliente de las zarandas que se implementaron en los pozos de estudio y trabajaron con mallas piramidales plus se tuvo en cuenta que el caudal saliente del pozo fue de entre de 900 y 950 GPM y, por ende, cada zaranda recibió un caudal de entre 225 y 237.5 GPM. Por esto, para obtener información y posteriormente resultados representativos, se tomaron de cada zaranda 10 muestras de fluido.

**3.2.5 Pruebas y resultados en el pozo 4.** En los siguientes numerales, se encuentran los resultados de cada una de las pruebas realizadas a cada muestra tomada previamente implementando mallas piramidales plus en las zarandas, tanto para la sección de 12 ¼” como para la sección de 8 ½” del ultimo pozo perforado para este proyecto.

**3.2.5.1 Porcentaje de humedad en los recortes.** De las pruebas de retorta realizadas a las muestras tomadas en las zarandas en cada sección que se perforó

implementando mallas piramidales plus, se obtuvieron los porcentajes de humedad (agua y aceite) y sólidos presentes en cada una de ellas, de esta forma, las **tablas 31 y 32** a continuación ilustran los resultados obtenidos. Esta prueba es explicada a detalle en el numeral **1.6** del marco teórico.

**Tabla 31.** Resultados de la prueba de retorta aplicada a las muestras tomadas de los equipos implementando mallas piramidales plus en la sección 12 ¼" en el pozo 4.

Muestra	Profundidad (Pies)	Formación	% Agua	% Aceite	% Sólido	% Área de secado
1	3612	Orito-Belen	18	18	64	30%-40%
2	4463	Orito-Belen	18	22	60	30%-40%
3	5009	Orito-Belen	16	20	64	30%-40%
4	5742	Orito-Belen	18	24	58	30%-40%
5	6449	Orteguaza	20	20	60	30%-40%
6	7095	Orteguaza	20	16	64	30%-40%
7	7545	Upper Pepino	18	16	66	30%-40%
8	8006	Middle Pepino	16	18	66	30%-40%
9	8334	Lower Pepino	16	14	70	30%-40%
10	8600	Rumiyaco	16	22	62	30%-40%

**Fuente:** elaboración propia, en base en RAMDE SOLIDS CONTROL, resultados de las pruebas realizadas a las muestras tomadas de la sección 12 ¼", 2020.

**Tabla 32.** Resultados de la prueba de retorta aplicada a las muestras tomadas de los equipos implementando mallas piramidales plus en la sección 8 ½" en el pozo 4.

Muestra	Profundidad (Pies)	Formación	% Agua	% Aceite	% Sólido	% Área de secado
1	8665	N-Sand	16	22	62	50%
2	8735	N-Sand	18	20	62	50%
3	8851	Villeta	18	22	60	50%
4	8976	Villeta	18	18	64	50%
5	9032	Villeta	20	22	58	50%
6	9211	Villeta	20	20	60	50%
7	9433	Villeta	22	22	56	50%
8	9555	Villeta	22	24	54	50%
9	9678	Villeta	18	20	62	50%
10	9751	Caballos	18	22	60	50%

**Fuente:** elaboración propia, en base en RAMDE SOLIDS CONTROL, resultados de las pruebas realizadas a las muestras tomadas de la sección 8 ½", 2020.

De las tablas observadas anteriormente, se puede destacar que el porcentaje de agua presente en la sección de 12 ¼" del tercer pozo cercano a los pozos de estudio varía entre 16% y 20%, dejando como promedio un porcentaje de humedad o carga líquida del 18%. Por otro lado, el porcentaje de sólidos en esta sección se mantiene entre el 58% y 70%, es decir, en promedio se observa para esta sección un 64% de presencia de sólidos.

Para el caso de la sección 8 ½", se puede observar que el porcentaje de agua registrado en la prueba de retorta fue del 16 % hasta el 22%, dando así un promedio de humedad o carga líquida de 19% en las muestras tomadas. De la misma forma, se registró un rango de sólidos presentes en las muestras tomadas que varía desde el 54% hasta el 64%, resultando en un promedio del 59%. Estos rangos obtenidos en las pruebas realizadas a las muestras denotan un comportamiento común en el fluido de perforación al implementar mallas planas.

**3.2.5.2 Área de secado.** Luego de observar los resultados en las **tablas 31 y 32**, se puede concluir que, el porcentaje de área de secado de las mallas piramidales plus en promedio durante la sección 12 ¼" es del 35%, mientras que para la sección de 8 ½", se registró un porcentaje de área de secado promedio del 50%. Esto gracias a la nueva geometría y propiedades de las nuevas mallas implementadas. Esta propiedad es obtenida mediante la siguiente expresión matemática.

**Ecuación 6.** Expresión matemática para la determinación del área de secado

$$\% \text{Área de Secado} = 100\% - \left( \frac{\text{Longitud libre de fluido}}{\text{Longitud total}} * 100 \right)$$

**3.2.5.3 Peso del fluido de perforación.** A continuación, se muestra en las **tablas 33 y 34** los valores obtenidos de las pruebas de densidad tomadas al fluido para cada sección perforada en el cuarto pozo de estudio en el que se implementó mallas piramidales plus en el momento que entra a la zaranda, de la misma forma, la densidad medida a la hora de salir del equipo, tanto del fluido recuperado como de los recortes separados del fluido. Esta prueba se explica detalladamente en el numeral 1.5 del marco teórico.

**Tabla 33.** Resultados de la prueba de densidad aplicada a las muestras tomadas de los equipos implementando mallas piramidales plus en la sección 12 ¼" en el pozo 4.

Muestra	Profundidad (Pies)	Peso del fluido de entrada (Libras/Galones)	Peso del fluido de salida (Libras/Galones)	Peso de la descarga sólida (Libras/Galones)
1	3612	11,5	11,3+	15,4
2	4463	11,5	11,4	15,5
3	5009	11,7	11,5	15,4
4	5742	11,8	11,6+	16
5	6449	11,8	11,6+	16,1
6	7095	12	11,9	15,8
7	7545	12,1	12	15,9
8	8006	12,2	12+	15,8
9	8334	12,2	12+	15,9
10	8600	12,2	12,1	16,1

**Fuente:** elaboración propia, en base en RAMDE SOLIDS CONTROL, pesos tomados de las pruebas de densidad en la sección 12 ¼", 2020.

**Tabla 34.** Resultados de la prueba de densidad aplicada a las muestras tomadas de los equipos implementando mallas piramidales plus en la sección 8 ½" en el pozo 4.

Muestra	Profundidad (Pies)	Peso del fluido de entrada (Libras/Galones)	Peso del fluido de salida (Libras/Galones)	Peso de la descarga sólida (Libras/Galones)
1	8665	12,4	12,6+	16,1
2	8735	12,5	12,4	16,2
3	8851	12,6	12,5	16,1
4	8976	12,6	12,4+	16,1
5	9032	12,6	12,4+	16,1
6	9211	12,6	12,9+	16,1
7	9433	12,6	12,5	16,1
8	9555	12,6	12,4	16,1
9	9678	12,6	12,5	15,9
10	9751	12,6+	12,5+	15,8

**Fuente:** elaboración propia, en base en RAMDE SOLIDS CONTROL, pesos tomados de las pruebas de densidad en la sección 8 ½", 2020.

A partir de los resultados de las pruebas realizadas a las muestras tomadas, vale la pena resaltar que durante la perforación de la sección de 12 ¼” con las mallas piramidales plus se observa una reducción en la densidad del fluido de perforación de un 1.37 %, por otro lado, durante la perforación de la sección de 8 ½” se registró una reducción de esta propiedad del fluido en un 0.5% implementando el mismo diseño de malla piramidal plus. Estas reducciones en la densidad del fluido se verán reflejadas en procesos posteriores de reacondicionamiento del fluido de perforación gracias a que este requerirá menos tratamientos por que inicialmente su peso ya tuvo un decrecimiento importante.

**3.2.5.4 Eficiencia de la remoción de sólidos.** Una vez los resultados de la variación de densidades antes y después de pasar por la zaranda son obtenidos, se puede calcular la eficiencia de la remoción de sólidos de las mallas piramidales plus implementadas. En las **tablas 35 y 36** se ilustran los resultados del cálculo de la eficiencia de la remoción de sólidos.

**Tabla 35.** Porcentajes de la eficiencia de remoción de sólidos de cada muestra tomada implementando mallas piramidales plus en la sección 12 ¼” en el pozo 4.

Muestra	Profundidad (Pies)	% eficiencia de remoción de sólidos
1	3171	71.4
2	3952	72.4
3	4825	69.8
4	5155	72.4
5	5948	71.4
6	6698	69.8
7	7285	68.1
8	8056	66.5
9	8559	75.1
10	9006	71.4

**Fuente:** elaboración propia, en base en RAMDE SOLIDS CONTROL, porcentaje de eficiencia de remoción de sólidos en la sección de 12 ¼”, 2020.

**Tabla 36.** Porcentajes de la eficiencia de remoción de sólidos de cada muestra tomada implementando mallas piramidales plus en la sección 8 ½” en el pozo 4.

Muestra	Profundidad (Pies)	% eficiencia de remoción de sólidos
1	9250	69.8
2	9350	69.1
3	9441	71.4
4	9625	72.5
5	9771	72.5
6	9920	69.8
7	10125	69.1
8	10364	71.4
9	10445	71.4
10	10600	69.8

**Fuente:** elaboración propia, en base en RAMDE SOLIDS CONTROL, porcentaje de eficiencia de remoción de sólidos en la sección de 8 ½”, 2020.

De la última prueba de tamiz, vale la pena resaltar de los resultados obtenidos que, al igual que las mallas planas, las mallas piramidales plus también permanecen en valores muy similares entre sí en su promedio de eficiencia de remoción de sólidos y es que el valor que se obtuvo para la sección de 12 ¼” en el último pozo perforado en este proyecto fue de 70.83 %, mientras que para la sección de 8 ½” el promedio de eficiencia es de 70.68 %, manteniendo esa tendencia de una alta remoción de estas partículas sólidas inmersas en el fluido de perforación.

**3.2.6 Mallas utilizadas.** Para cumplir exitosamente con la perforación de la sección de 12 ¼” del tercer pozo de estudio se requirieron 18 mallas piramidales plus. Esto teniendo en cuenta que para realizar estas operaciones se implementaron 4 zarandas FLC 503 y en estas, 12 mallas piramidales plus repartidas en grupos de tres mallas por zaranda.

**Tabla 37.** Datos operativos de las mallas piramidales plus implementadas durante la sección 12 ¼” en el pozo 4.

API	Punto de corte	Tipo de malla	Pies perforados	Mallas utilizadas	Horas promedio de las mallas
140	115	Malla Piramidal Plus	5075	18	365

**Fuente:** elaboración propia, en base en RAMDE SOLIDS CONTROL, cantidad de mallas implementadas en la sección de 12 ¼” para cada pozo, 2020.

Al igual que para la sección de 12 ¼”, se contabilizaron las mallas piramidales plus necesarias para perforar la sección de 8 ½”, dando así un total de 12 mallas piramidales plus. Estas mallas fueron repartidas en grupos de a 3 mallas por cada zaranda, con un total de 4.

**Tabla 38.** Datos operativos de las mallas piramidales plus implementadas durante la sección 8 ½” en el pozo 4.

API	Punto de corte	Tipo de malla	Pies perforados	Mallas utilizadas	Horas promedio de las mallas
170	97	Malla piramidal Plus	1162	12	191

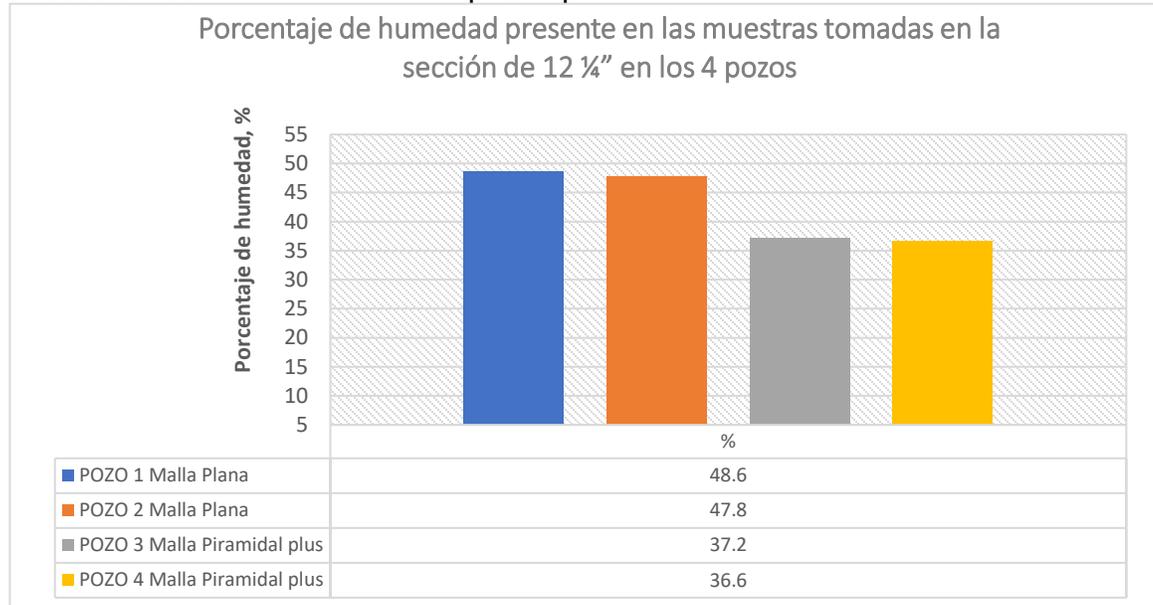
**Fuente:** elaboración propia, en base en RAMDE SOLIDS CONTROL, cantidad de mallas implementadas en la sección de 8 ½” para cada pozo, 2020.

### 3.3 ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE LAS MALLAS PIRAMIDALES PLUS VERSUS LAS MALLAS PLANAS IMPLEMENTADAS

A partir de este numeral, se va a realizar un estudio comparativo entre el desempeño que tuvieron tanto las mallas piramidales plus como las mallas planas implementadas durante la perforación de dos pozos en la Cuenca del Putumayo cada una, a partir de los datos y la información obtenida y organizada en los capítulos anteriores.

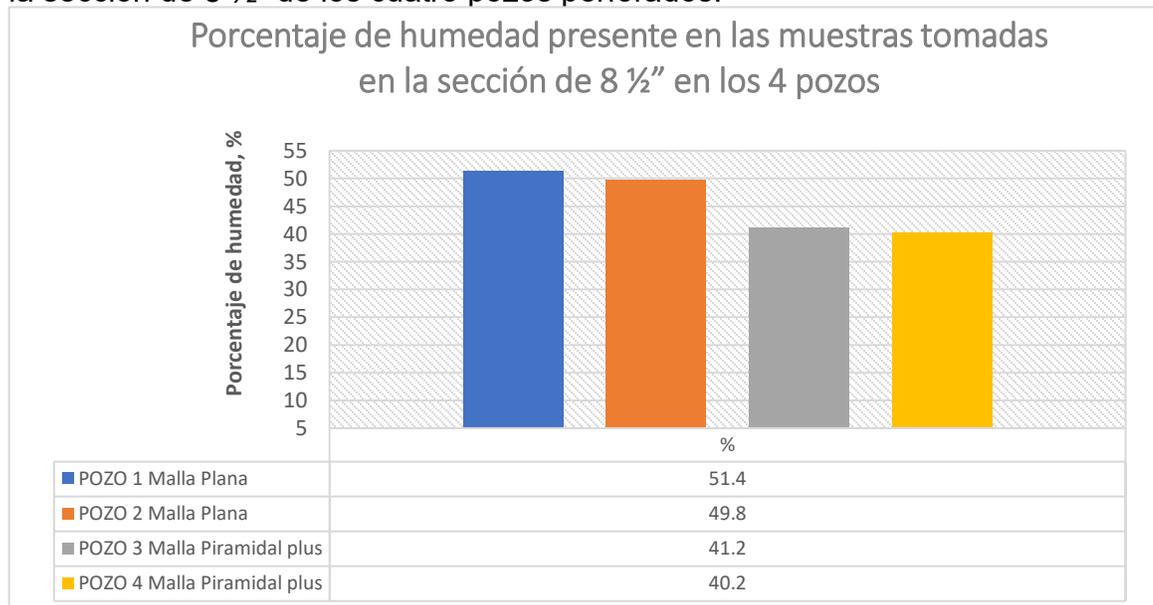
**3.3.1 Porcentaje de humedad presente en las muestras tomadas.** De la prueba de retorta realizada a las muestras tomadas de las zarandas FLC 503 y al sumar los valores de porcentaje de agua y porcentaje de aceite se logró determinar el porcentaje de humedad, los pozos 1 y 2 en los cuales se implementaron las mallas planas, presentaron los mayores porcentajes de presencia de humedad en todas las muestras tomadas, dejando porcentajes promedio de 48,6 y 47,8 respectivamente, a diferencia de las muestras tomadas en los pozos 3 y 4 que implementaron las mallas piramidales plus y, que en promedio, reportaron en estas pruebas 37,2 y 36,6 % de humedad respectivamente, esto durante la perforación de la sección de 12 ¼”, es decir, un 24 % menos que las mallas planas. Por otro lado, durante la sección de 8 ½”, las mallas planas reportaron en promedio 51,44 y 49,8 % de presencia de humedad en los pozos 1 y 2, lo que sería un 20% mayor a los resultados de las mallas piramidales plus para esta sección. A continuación, en las gráficas 1 y 2 se pueden observar la comparación de los resultados

**Gráfica 1.** Porcentaje de humedad promedio a partir de la prueba de retorta para la sección de 8 ½” de los cuatro pozos perforados.



**Fuente:** elaboración propia, en base en RAMDE SOLIDS CONTROL, comparación de los resultados de la prueba de retorta en la sección 12 ¼”, 2020.

**Gráfica 2.** Porcentaje de humedad promedio a partir de la prueba de retorta para la sección de 8 ½” de los cuatro pozos perforados.

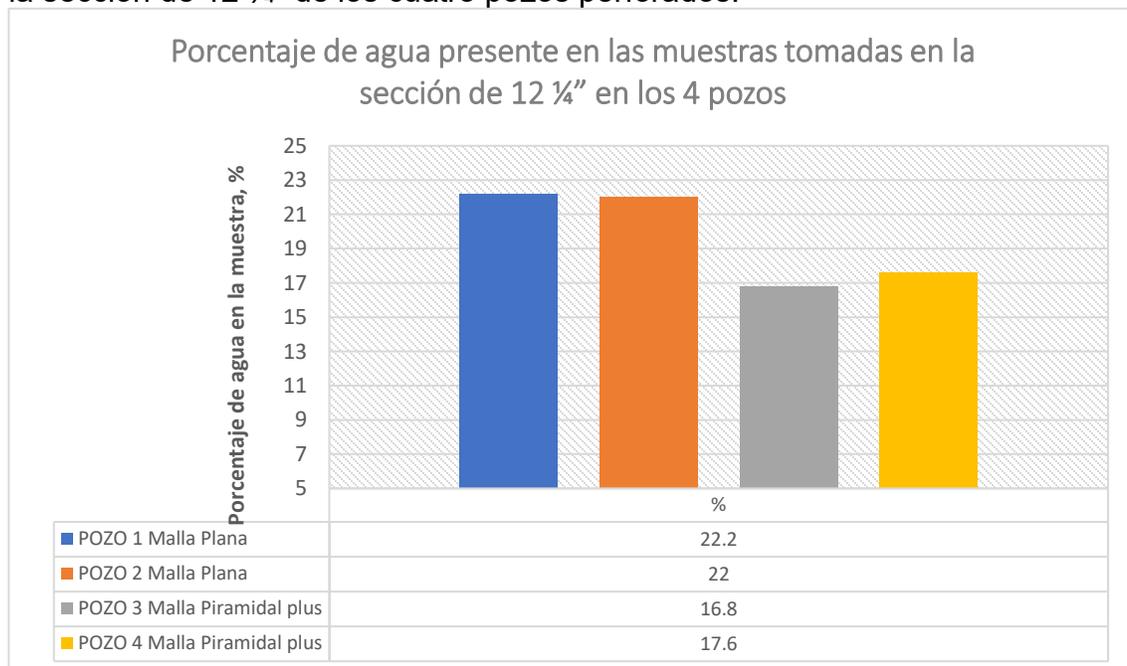


**Fuente:** elaboración propia, en base en RAMDE SOLIDS CONTROL, comparación de los resultados de la prueba de retorta en la sección 8 ½”, 2020.

De las gráficas observadas anteriormente se puede destacar que, las mallas piramidales plus al tener una geometría innovadora logran mantener en el fluido de perforación una mayor cantidad de fluido, gracias al buen desempeño al separar los componentes sólidos de los componentes líquidos presentes en las muestras tomadas del fluido de perforación, por el contrario, en el caso de las mallas planas, se observa una baja remoción del componente húmedo impregnado en los sólidos y recortes presentes en el fluido que las atraviesa debido a su baja eficiencia.

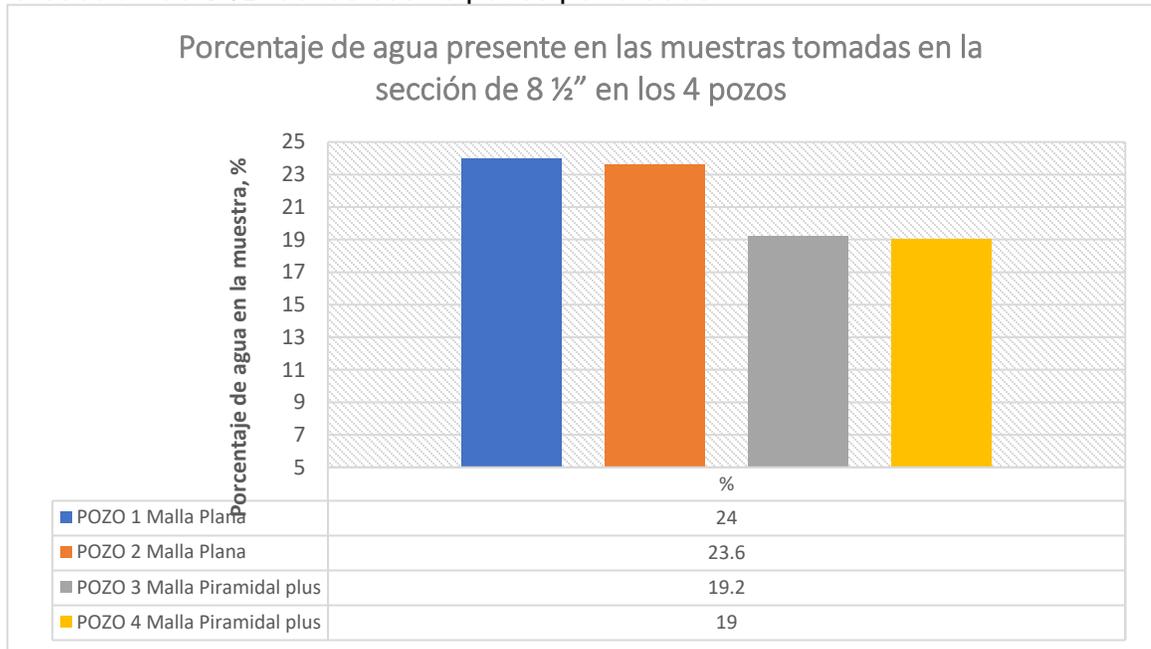
**3.3.2 Porcentaje de agua presente en las muestras tomadas.** De la prueba de retorta realizada a las muestras tomadas de las zarandas FLC 503 previamente, se obtuvo que, los pozos 3 y 4 en los cuales se implementaron las mallas piramidales plus, presentaron en promedio un 22% menos de presencia de agua en las muestras tomadas a la salida del equipo de control de sólidos primarios, en comparación a los resultados de los pozos 1 y 2 del proyecto de investigación, que en promedio reportaron 22,2 y 22 % de agua presente en la muestras tomadas después de atravesar las mallas planas durante la perforación de la sección de 12 ¼". De forma similar, durante la sección de 8 ½", las mallas planas reportaron un promedio de 24 y 23,6 % de presencia de agua en las muestras de los pozos 1 y 2, es decir, un 20% más de agua que las muestras de los pozos 3 y 4. A continuación en las **gráficas 3 y 4** se pueden observar la comparación de los resultados de ambas secciones.

**Gráfica 3.** Porcentaje de agua promedio reportado en la prueba de retorta para la sección de 12 ¼" de los cuatro pozos perforados.



**Fuente:** elaboración propia, en base en RAMDE SOLIDS CONTROL, comparación de los resultados de la prueba de retorta en la sección 12 ¼", 2020.

**Gráfica 4.** Porcentaje de agua promedio reportado en la prueba de retorta para la sección de 8 ½” de los cuatro pozos perforados.

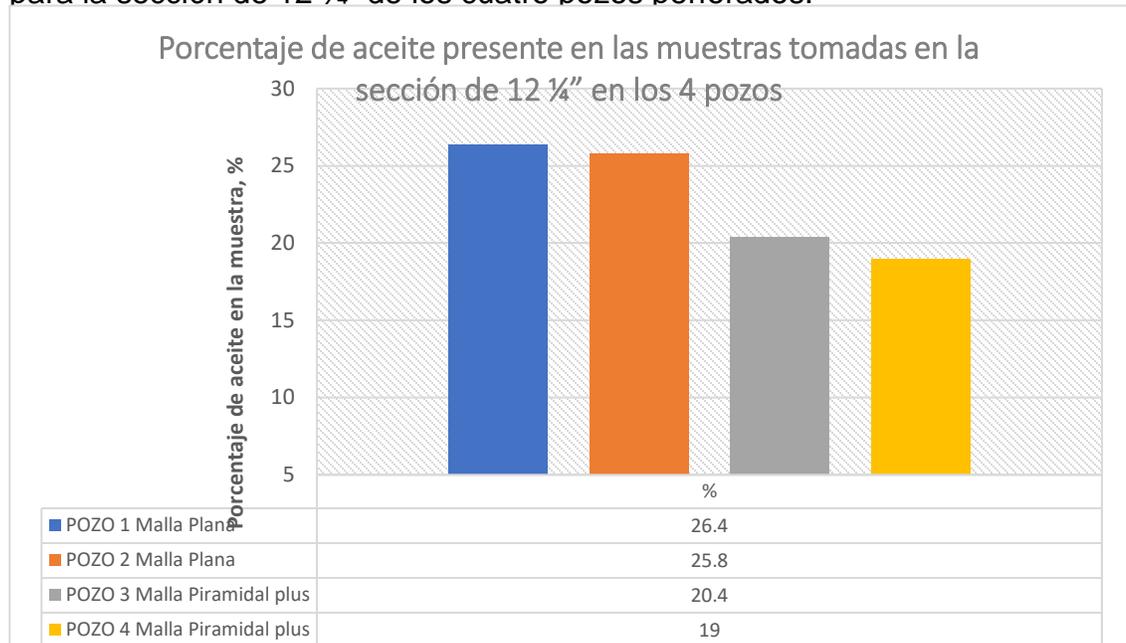


**Fuente:** elaboración propia, en base en RAMDE SOLIDS CONTROL, comparación de los resultados de la prueba de retorta en la sección 8 ½”, 2020.

De las gráficas observadas anteriormente se puede destacar que, las mallas piramidales plus al tener una geometría innovadora logran mantener en el fluido de perforación una mayor cantidad de agua, lo que realza la capacidad de este tipo de mallas para extraer eficientemente los sólidos presentes en el fluido, por otro lado, al realizar la comparación, las mallas planas evidencian una baja retención del agua presente en el fluido de perforación que las atraviesa, esto gracias a su diseño poco eficiente.

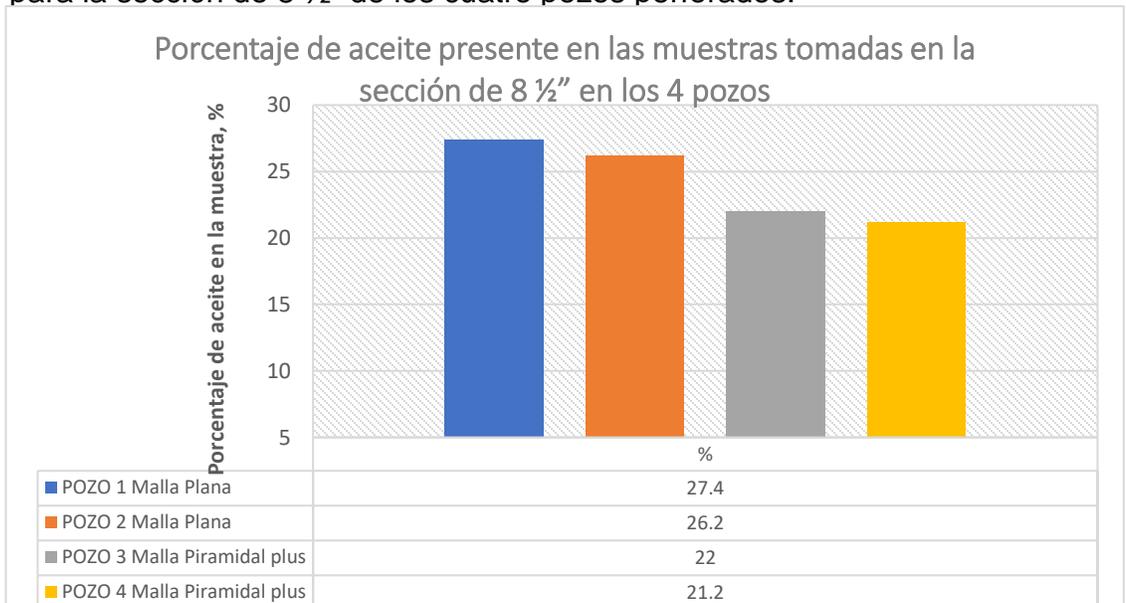
**3.3.3 Porcentaje de aceite presente en las muestras tomadas.** De la prueba de retorta realizada a las muestras tomadas de las zarandas FLC 503 también se logró obtener que en promedio, los pozos 1 y 2 en los cuales se implementaron las mallas planas, presentaron los mayores porcentajes de presencia de aceite en todas las muestras tomadas, dejando porcentajes promedio de 26,4 y 25,8 respectivamente, a diferencia de las muestras tomadas en los pozos 3 y 4 que implementaron las mallas piramidales plus y, que en promedio, reportaron en estas pruebas 20,4 y 19 % de aceite respectivamente, esto durante la perforación de la sección de 12 ¼”, es decir, un 25 % menos que las mallas planas. Por otro lado, durante la sección de 8 ½”, las mallas planas reportaron en promedio 27.4 y 26.2 % de presencia de aceite en los pozos 1 y 2, lo que sería un 19% mayor a los resultados de las mallas piramidales plus para esta sección. A continuación, en las gráficas 5 y 6 se pueden observar la comparación de los resultados.

**Gráfica 5.** Porcentaje de aceite promedio reportado en la prueba de retorta para la sección de 12 ¼” de los cuatro pozos perforados.



**Fuente:** elaboración propia, en base en RAMDE SOLIDS CONTROL, comparación de los resultados de la prueba de retorta en la sección 12 ¼”, 2020.

**Gráfica 6.** Porcentaje de aceite promedio reportado en la prueba de retorta para la sección de 8 ½” de los cuatro pozos perforados.

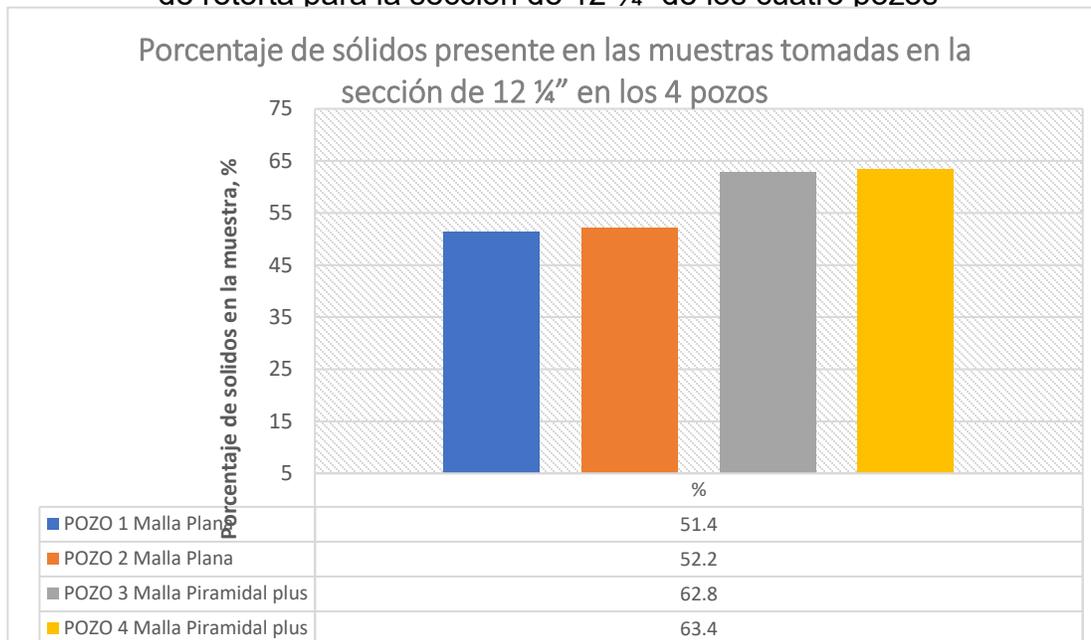


**Fuente:** elaboración propia, en base en RAMDE SOLIDS CONTROL, comparación de los resultados de la prueba de retorta en la sección 8 ½”, 2020.

En las **gráficas 5 y 6** se destaca la sobresaliente capacidad las mallas piramidales plus para extraer una mayor cantidad de aceite presente en los recortes impregnados de este, lo que se traduce en un buen desempeño al separar los componentes sólidos de los componentes líquidos presentes en las muestras tomadas del fluido de perforación, por el contrario, en el caso de las mallas planas, se observa una baja remoción del componente aceitoso impregnado en los sólidos y recortes presentes en el fluido que las atraviesa, esto es un resultado común de este tipo de mallas debido a su geometría de bajo desempeño.

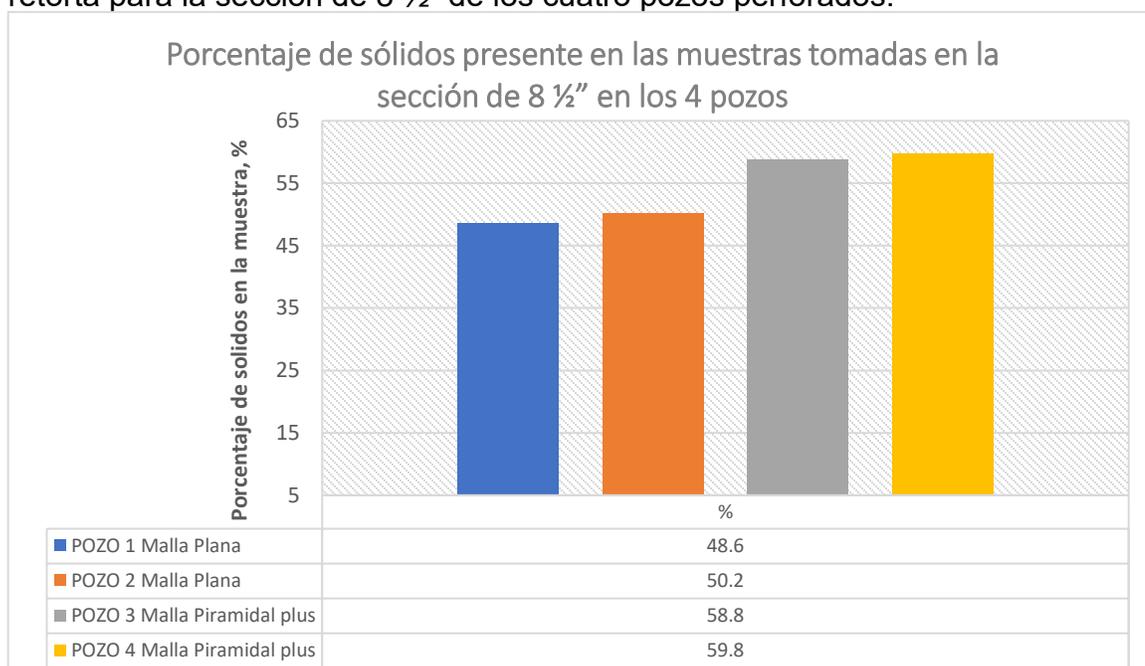
**3.3.4 Porcentaje de sólidos presente en las muestras tomadas.** Continuando con la información obtenida de la prueba de retorta realizada a las muestras tomadas de las zarandas FLC 503, se recopilaron también los resultados de los porcentajes de sólidos presentes en las muestras una vez salieron del equipo de control de sólidos primario y se observó que, los pozos en los cuales se implementaron las mallas planas, presentaron los menores porcentajes de presencia de sólidos de todas las muestras obtenidas, con resultados de 51,4 y 52,2 % en promedio, a diferencia de los 62,8 y 63,4 % obtenidos de las mallas piramidales plus, lo que quiere decir que este tipo de mallas lograron remover un 22% más de sólidos presentes en el fluido en la sección de 12 ¼". En la gráfica 7 se pueden observar los resultados para esta sección.

**Gráfica 7.** Porcentaje de sólidos presentes promedio reportado en la prueba de retorta para la sección de 12 ¼" de los cuatro pozos



**Fuente:** elaboración propia, en base en RAMDE SOLIDS CONTROL, comparación de los resultados de la prueba de retorta en la sección 12 ¼". 2020.

**Gráfica 8.** Porcentaje de sólidos presentes promedio reportado en la prueba de retorta para la sección de 8 ½” de los cuatro pozos perforados.

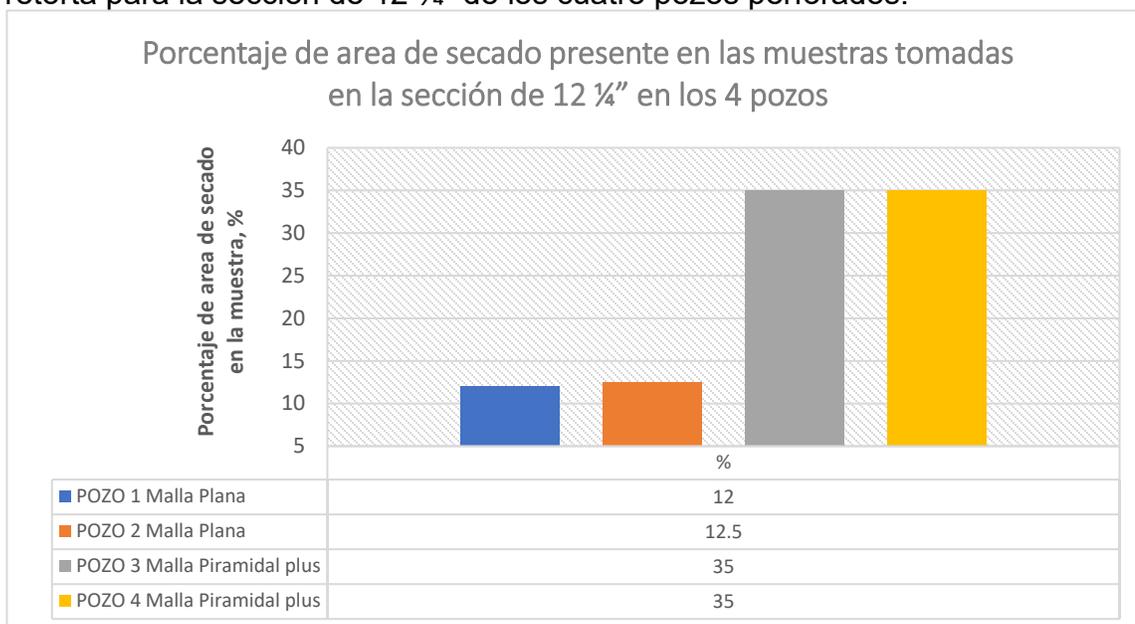


**Fuente:** elaboración propia, en base en RAMDE SOLIDS CONTROL, comparación de los resultados de la prueba de retorta en la sección 8 ½”, 2020.

Por otro lado, durante la sección de 8 ½”, las mallas planas reportaron en promedio 48,6 y 50,2 % de presencia de sólidos en los pozos 1 y 2, no obstante, para la misma sección en los pozos 3 y 4, las mallas piramidales plus volvieron a ser superiores en un 20% sobre las mallas planas, removiendo estos sólidos presentes en el fluido de perforación en un promedio de 58,8 y 59,8 %. En la gráfica 8 se ilustran los resultados de la sección de 8 ½”.

Uno de los resultados destacados de la prueba de retorta realizada a las muestras tomadas, es el porcentaje de sólidos presente en el fluido que atravesó ambos tipos de malla, pues a partir de los datos obtenidos, es importante resaltar que las mallas piramidales plus tuvieron un desempeño excelente a la hora de remover todos estos recortes y sólidos que venían inmersos en el fluido de perforación recuperado del pozo, pues diferencias de más del 20% de sólidos presentes entre muestras tomadas implementando las mallas planas y las mallas piramidales plus para ambas secciones, denotan bastante superioridad en la eficiencia de la remoción de estos elementos por parte de las mallas piramidales plus.

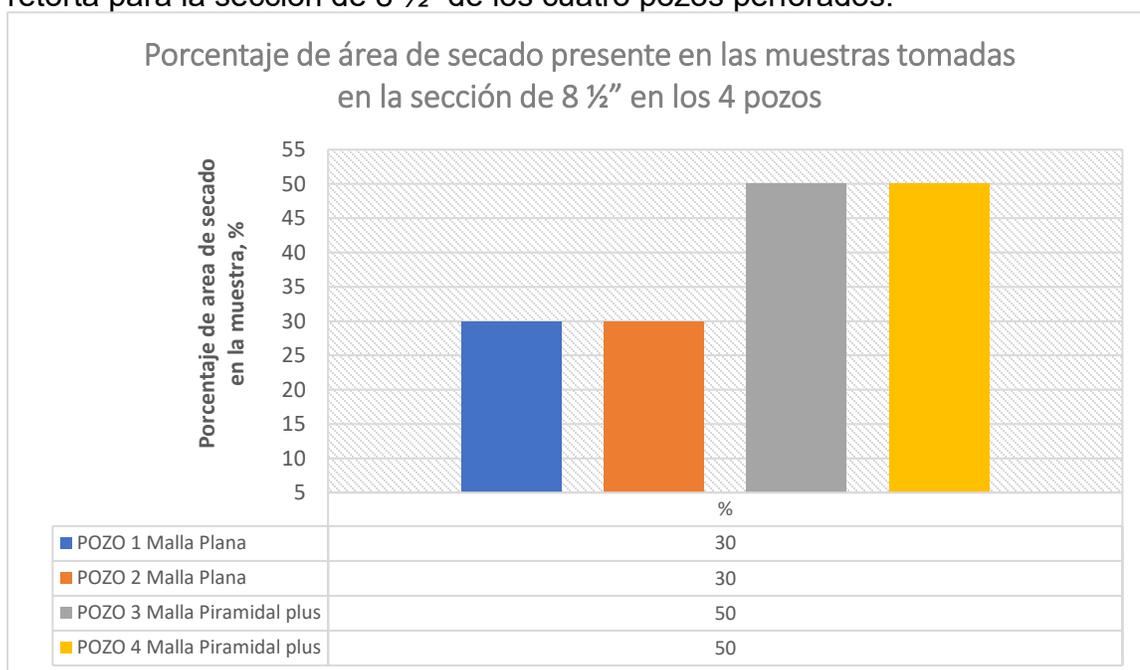
**Gráfica 9.** Porcentaje de área de secado promedio reportado en la prueba de retorta para la sección de 12 ¼” de los cuatro pozos perforados.



**Fuente:** elaboración propia, en base en RAMDE SOLIDS CONTROL, comparación de los resultados de la prueba de retorta en la sección 12 ¼”, 2020.

**3.3.5 Porcentaje de área de secado en las muestras tomadas.** Finalmente, la última propiedad que se midió con la prueba de retorta fue el área de secado en la malla, una vez más en esta prueba, las mallas piramidales plus respondieron de forma positiva en los resultados, demostrando que se puede aprovechar de forma más eficiente el área de trabajo de la malla, obteniendo mejores resultados y consumiendo menos recursos. Es por esto que, los porcentajes de área de secado promedio de las mallas planas durante este proyecto se reducen a no más de 30% en la sección de 8 ½” y no más del 12,5% para la sección de 12 ¼”, que si de por sí solos son resultados bastante bajos en esta propiedad, las mallas piramidales plus las superaron en 67% y 186% respectivamente para cada sección, lo que no solo permite observar la superioridad de este tipo de malla, sino también el pobre desempeño de la geometría simple de las mallas planas. En las gráficas 9 y 10 se puede observar cómo las mallas piramidales plus no necesitan utilizar más espacio de sí mismas para entregar los mejores resultados, lo que significa un menor gasto de recursos obteniendo mejores resultados que las mallas planas.

**Gráfica 10.** Porcentaje de área de secado promedio reportado en la prueba de retorta para la sección de 8 ½” de los cuatro pozos perforados.

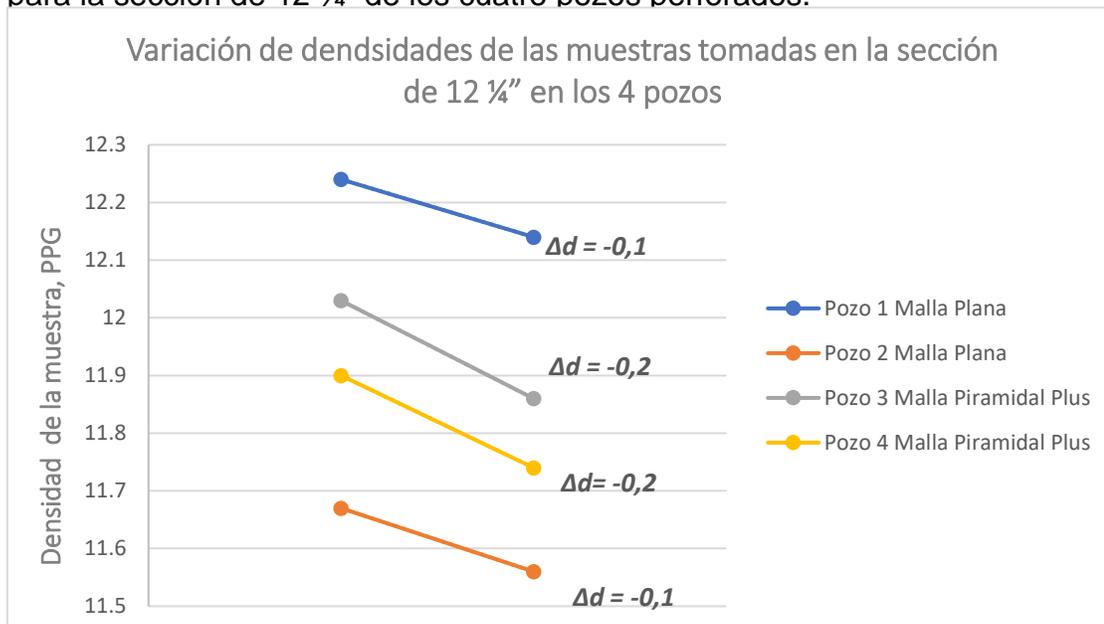


**Fuente:** elaboración propia, en base en RAMDE SOLIDS CONTROL, comparación de los resultados de la prueba de retorta en la sección 8 ½”, 2020.

Como se puede observar en las gráficas 9 y 10 y en conjunto con las demás propiedades medidas con la prueba de retorta, las mallas piramidales plus reflejan mejores resultados a la hora de separar las cargas líquidas de las cargas sólidas en el lodo de perforación recuperado del pozo, y esto con un área de trabajo mucho menor, lo que evita el acelerado desgaste que pueden sufrir estas herramientas y que a futuro, representan menos costos operativos para la compañía operadora tanto desde la inversión en una mayor cantidad de mallas necesarias para la perforación de nuevos pozos, como en los procedimientos de reacondicionamiento que requiere el lodo después de pasar por estos equipos.

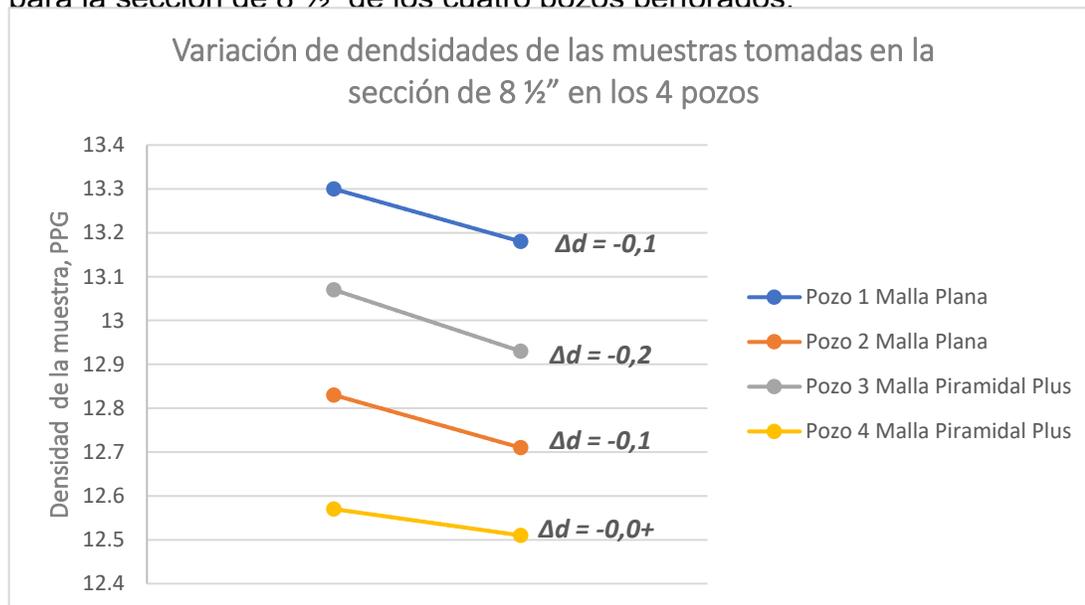
**3.3.6 Variación de la densidad en las muestras tomadas.** Con la balanza de lodo se llevó a cabo la prueba de densidad o peso del fluido de perforación, y de esta se logró obtener los valores de la variación del peso del fluido tanto a la salida del pozo como a la salida de la shaker FLC 503, es decir, una vez atravesó las mallas piramidales plus o las mallas planas dependiendo del pozo. A partir de estos resultados se estableció qué tipo de malla le reduce al fluido de perforación su peso o densidad en una mayor medida, facilitando así los procesos posteriores de reacondicionamiento de esta propiedad. En las gráficas 11 y 12 se puede observar cómo en general, las pendientes entre la densidad del fluido al entrar al equipo y al salir de este son, mayores al implementar las mallas piramidales plus.

**Gráfica 11.** Variación de la densidad reportada en la prueba de peso del lodo para la sección de 12 ¼” de los cuatro pozos perforados.



**Fuente:** elaboración propia, en base en RAMDE SOLIDS CONTROL, de los resultados de la prueba de densidad del lodo en la sección 12 ¼”, 2020.

**Gráfica 12.** Variación de la densidad reportada en la prueba de peso del lodo para la sección de 8 ½” de los cuatro pozos perforados.



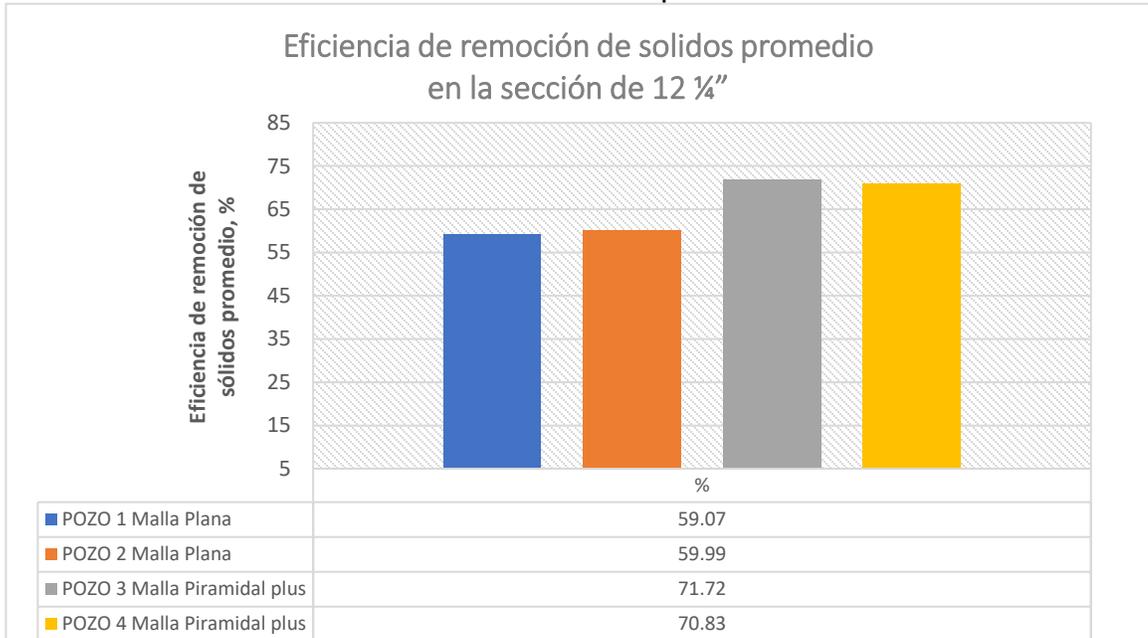
**Fuente:** elaboración propia, en base en RAMDE SOLIDS CONTROL, Comparación de los resultados de la prueba de densidad del lodo en la sección 8 ½”, 2020.

Basados en los resultados obtenidos durante esta prueba, es fácil observar como para la sección de 12 ¼” las mallas piramidales plus reportaron una reducción del 1.4% en la densidad del lodo recuperado del pozo una vez este atravesó el equipo de control de sólidos primario que implementaba estas mallas, lo que quiere decir que para esta sección, el tratamiento de reacondicionamiento de esta propiedad se redujo en tiempo, mano de obra y suplementos o aditivos que serían necesarios para restablecer la densidad del fluido al valor deseado para ser reutilizado, cosa que no sucede en el caso de las mallas planas, donde se puede observar que la reducción de esta propiedad es de un 0.88%, por lo que al implementar estas mallas se deben añadir más procesos para restablecer esta propiedad del fluido, operaciones como reingresar el fluido de perforación en las shakers para remover las partículas aun presentes en él o añadir los aditivos necesarios para llegar al peso óptimo de operación del fluido, añaden mucho más tiempo de inutilidad del lodo y además mayores costos en la operación.

En el caso de la sección de 8 ½”, a pesar de que los resultados obtenidos fueron un poco más parejos entre ambos tipos de malla, la mayor pendiente fue obtenida una vez más por las mallas piramidales plus, que en promedio, para esta sección redujeron en la perforación del pozo 3 un 1.08%, a diferencia de los pozos 1 y 2 perforados con mallas planas que reportaron un promedio de reducción de la densidad del fluido de 0.91 % y 0.94% respectivamente. Es un caso atípico el del resultado obtenido en el pozo 4, puesto que a pesar de haber implementado las mallas piramidales plus, en esta prueba reportó un promedio de reducción de la densidad del fluido de apenas 0.49%, esto se ve igual reflejado en que para esta sección, representa la pendiente más baja en cuanto a la variación de la densidad del lodo una vez atravesó el equipo y, como se comprobó en el pozo 3, en promedio este tipo de mallas presentan un mejor rendimiento a la hora de reducir esta propiedad del fluido.

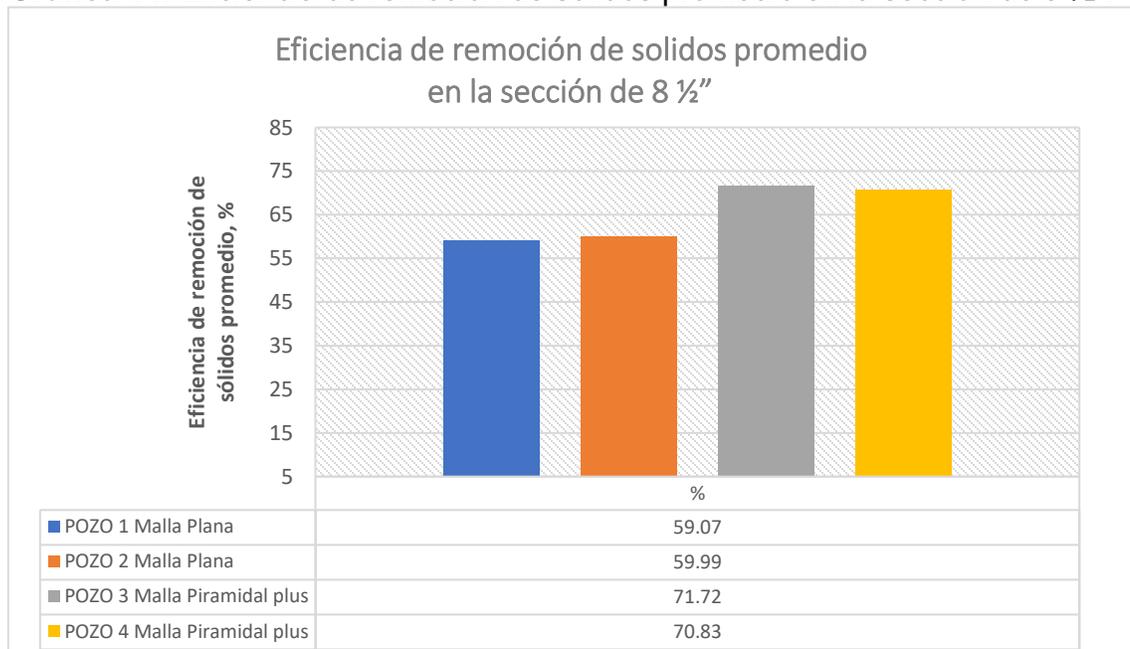
**3.3.7 Eficiencia de remoción de sólidos de las mallas.** Al realizar la prueba de tamiz del fluido de perforación, se pudieron obtener resultados que reflejan una de las mayores bondades de la implementación de las mallas piramidales plus por encima de las mallas planas, la cual es su sobresaliente capacidad para separar el fluido inmerso en los recortes y sólidos presentes en el fluido de perforación extraído del pozo, en otras palabras, recuperar más fluido reduciendo tanto los tiempos y procesos de reacondicionamiento de este como los de disposición de recortes y otros sólidos separados provenientes del pozo o de anteriores tratamientos. A continuación, se puede observar gráficamente el desempeño de ambos tipos de malla a la hora de separar sólidos presentes del fluido de perforación durante la perforación de los pozos en la Cuenca del Putumayo.

**Gráfica 13.** Eficiencia de remoción de sólidos promedio en la sección de 12 ¼”.



**Fuente:** elaboración propia, en base en RAMDE SOLIDS CONTROL, resultados de las pruebas de tamiz del fluido de perforación, 2020.

**Gráfica 14.** Eficiencia de remoción de sólidos promedio en la sección de 8 ½”.

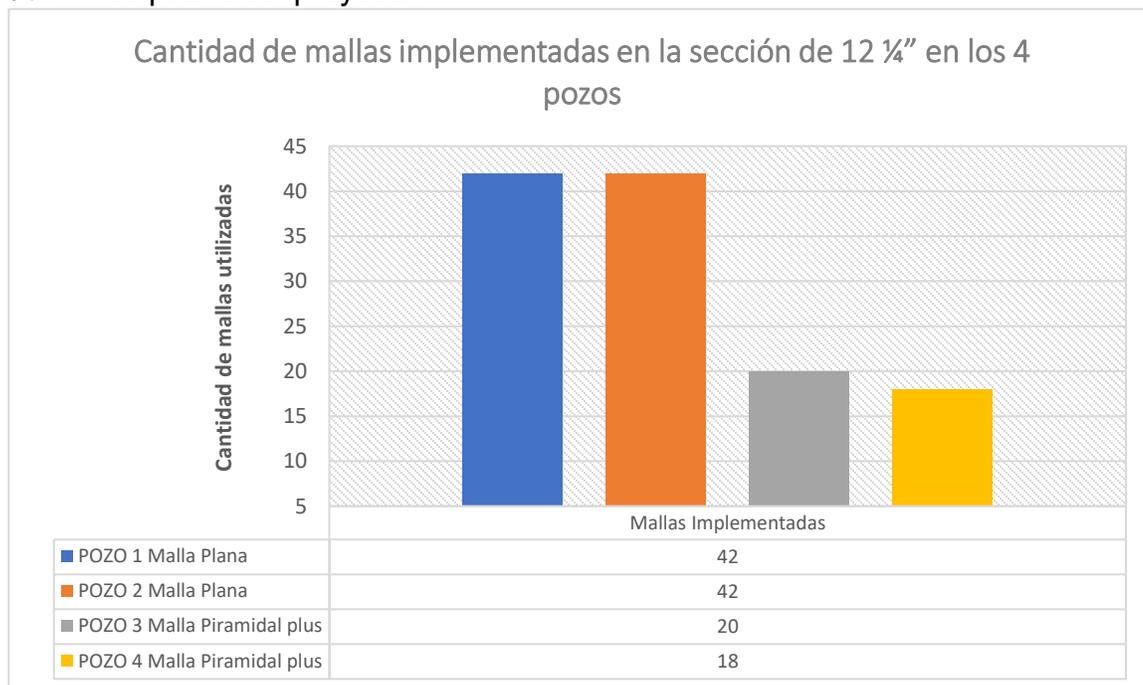


**Fuente:** elaboración propia, en base en RAMDE SOLIDS CONTROL, resultados de las pruebas de tamiz del fluido de perforación, 2020.

En base a estos resultados observados, es importante resaltar que la **gráfica 13** y la **gráfica 14** evidencian como las mallas piramidales plus ofrecen una mayor capacidad de separación de las cargas líquidas de las cargas solidas presentes en el fluido de perforación recuperado del pozo, debido a que esto no solo se ve reflejado en una mayor facilidad del tratamiento de este fluido para ser reutilizado en posteriores operaciones, sino que también reduce en gran medida el tiempo de operación que esto conlleva, sin mencionar que los sólidos y recortes separados necesitarán un tratamiento menos dispendioso ahora que no están impregnados del fluido base aceite en la misma medida que lo estarían si hubiesen atravesado las shakers FLC 503 implementando mallas planas, es decir que le ahorrarán a la compañía operadora tiempo de operaciones ajenas al proceso productivo además de dinero en procesos de reacondicionamiento del fluido y de disposición de los recortes y sólidos separados de este.

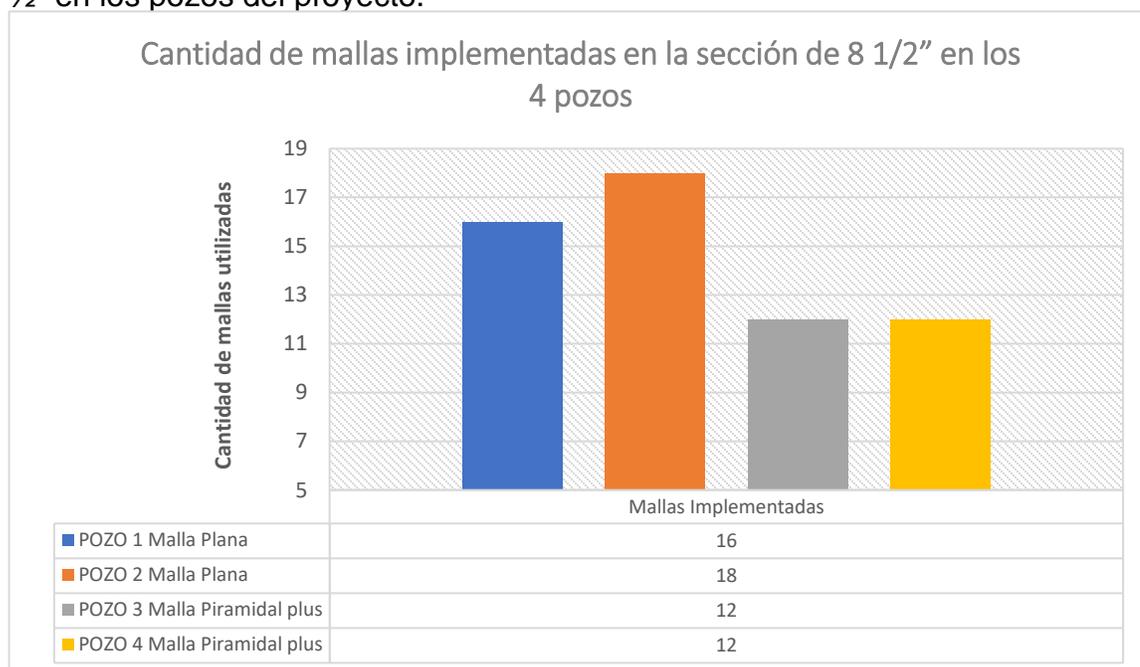
**3.3.8 Cantidad de mallas implementadas en cada pozo.** Una vez se terminó la perforación de los cuatro pozos de este proyecto de investigación, se obtuvo la información de las mallas requeridas para llevar a cabo estas operaciones y basados en estas, se obtuvieron los siguientes comportamientos en los pozos.

**Gráfica 15.** Cantidad de mallas implementadas para perforar cada sección de 12 ¼” en los pozos del proyecto.



**Fuente:** elaboración propia, en base en RAMDE SOLIDS CONTROL, cantidad de mallas implementadas en cada pozo durante la sección 12 ¼”, 2020.

**Gráfica 16.** Cantidad de mallas implementadas para perforar cada sección de 8 1/2" en los pozos del proyecto.



**Fuente:** elaboración propia, en base en RAMDE SOLIDS CONTROL, cantidad de mallas implementadas en cada pozo durante la sección 8 1/2", 2020.

A partir de las gráficas observadas, es válido afirmar que el rendimiento y la vida útil de las mallas piramidales plus resalta por encima de las mallas planas, esto debido a que a lo largo de todas estas operaciones, para cada sección, fueron necesarias hasta un 47 % menos de mallas piramidales plus en promedio y de esta forma, una inversión menor tanto en estas herramientas como en la mano de obra para reemplazarlas y los tiempos de operación muertos mientras se hacen los reemplazos respectivos.

### 3.4 RESULTADOS DEL ANALISIS FINANCIERO

Durante este proyecto de investigación, la empresa Ramde Solids Control busca con información y datos reales obtenidos durante las perforaciones de 4 pozos en la Cuenca del Putumayo en Colombia, establecer qué tipo de malla representa en estas operaciones una mejor opción tanto técnica como económicamente para, cualquier compañía operadora que contrate sus servicios tanto ahora como en el futuro.

A partir de esto, se desarrollará en este capítulo el respectivo análisis financiero de cada panorama trabajado en el proyecto, es decir, teniendo en cuenta el desempeño tanto de las mallas planas utilizadas en los pozos 1 y 2, como el de las mallas piramidales plus implementadas en los pozos 3 y 4, y pronosticando un horizonte financiero de 12 meses en cada uno.

Para llevar a cabo este estudio, es importante resaltar que se utilizó el dólar estadounidense (USD) como unidad monetaria. A demás de esto, se vislumbra un horizonte de 12 meses para el análisis, teniendo en cuenta que un pozo toma en promedio un mes para ser perforado, es decir, que se realizará el análisis previendo 12 perforaciones y bajo el modelo de Valor Presente Neto (VPN) y Tasa Interna De Retorno (TIR).

**3.4.1 Costos operativos.** Uno de los principales valores para tener en cuenta durante el estudio financiero son los costos operativos, es decir lo que cuesta a la empresa mantener activa la operación en un tiempo específico. En este punto es importante recordar que los costos de equipos como el taladro y sus equipos secundarios, mano de obra y los otros equipos de control de sólidos serán constantes independientemente del tipo de malla que se implemente, es decir, no se tendrán en cuenta para este análisis. A continuación, se pueden observar las tablas donde se resumen los costos de las mallas y el fluido de perforación utilizados en cada escenario.

**Tabla 39.** Costos operativos de la perforación del primer pozo del proyecto.

Pozo 1	ITEM	CANTIDAD	USD UNITARIO	USD TOTAL
Sección 12 1/4"	Mallas Planas	42	\$345	\$14,490
	Barril de Fluido de perforación	2430	\$141	\$342,630
Sección 8 1/2"	Mallas Planas	16	\$360	\$5,760
	Barril de Fluido de perforación	2430	\$136	\$330,480

**Fuente:** elaboración propia, en base en RAMDE SOLIDS CONTROL, costos operativos de perforaciones realizadas. 2019.

**Tabla 40.** Costos operativos de la perforación del segundo pozo del proyecto.

Pozo 2	ITEM	CANTIDAD	USD UNITARIO	USD TOTAL
Sección 12 1/4"	Mallas Planas	42	\$345	\$14,490
	Barril de Fluido de perforación	2440	\$138	\$336,720
Sección 8 1/2"	Mallas Planas	18	\$360	\$6,480
	Barril de Fluido de perforación	2440	\$132	\$322,080

**Fuente:** elaboración propia, en base en RAMDE SOLIDS CONTROL, costos operativos de perforaciones realizadas. 2019.

**Tabla 41.** Costos operativos de la perforación del tercer pozo del proyecto.

Pozo 3	ITEM	CANTIDAD	USD UNITARIO	USD TOTAL
Sección 12 1/4"	Mallas Piramidales Plus	20	\$560	\$11,200
	Barril de Fluido de perforación	2250	\$143	\$321,750
Sección 8 1/2"	Mallas Piramidales Plus	12	\$590	\$7,080
	Barril de Fluido de perforación	2250	\$135	\$303,750

**Fuente:** elaboración propia, en base en RAMDE SOLIDS CONTROL, costos operativos de perforaciones realizadas. 2020.

**Tabla 42.** Costos operativos de la perforación del cuarto pozo del proyecto.

Pozo 4	ITEM	CANTIDAD	USD UNITARIO	USD TOTAL
Sección 12 1/4"	Mallas Piramidales Plus	18	\$560	\$10,080
	Barril de Fluido de perforación	2192	\$144	\$315,648
Sección 8 1/2"	Mallas Piramidales Plus	12	\$590	\$7,080
	Barril de Fluido de perforación	2192	\$133	\$291,536

**Fuente:** elaboración propia, en base en RAMDE SOLIDS CONTROL, costos operativos de perforaciones realizadas. 2020.

Una vez se tiene organizada la información de los costos de cada perforación separados en las secciones de interés, se debe esclarecer la cantidad de perforaciones que se tienen previstas en el horizonte temporal en el cual se hará el respectivo análisis financiero, de esta forma, se acordó junto con Ramde Solids Control S.A. establecer un periodo de 12 meses en los cuales se perfora un pozo completo cada mes.

**3.4.2 Escenarios financieros.** A continuación, se presentarán los escenarios financieros que se van a analizar con el fin de llegar a una conclusión sustentada y satisfactoria de, cuál de los dos tipos de mallas evaluadas en este proyecto de investigación representa un panorama realmente favorable para la compañía operadora que decida contratar los servicios de Ramde Solids Control S.A. y, busque una mayor eficiencia en sus operaciones.

**3.4.2.1 Escenario 1.** Para el primer pozo, se implementaron las mallas planas en las 4 shakers FLC 503 durante la perforación de las secciones de 12 ¼" y de 8 ½", de esta forma, en el primer escenario, se realizarán 12 perforaciones de pozos bajo las mismas condiciones en la Cuenca del Putumayo. Basados en los datos obtenidos del primer pozo perforado en este proyecto, se tiene que para perforar la sección de 12 ¼" se requirieron 42 mallas planas para perforar una totalidad de 6100 pies, mientras que, para la sección de 8 ½", se perforaron 1701 pies utilizando 16 mallas planas. Toda esta información y la totalidad del costo de la perforación de un pozo en este escenario se puede observar claramente en la **tabla 43**.

**Tabla 43.** Costo total de la perforación de un pozo en el escenario 1.

ITEM	Cantidad Total	USD TOTAL
Mallas planas	58	\$20,250
Barriles de fluido de perforación	4860	\$673,110
<b>TOTAL USD / POZO</b>	-	<b>\$693,360</b>

**Fuente:** elaboración propia, en base en RAMDE SOLIDS CONTROL, costos operativos de perforaciones realizadas. 2019.

**3.4.2.2 Escenario 2.** En el segundo escenario, se modelará el comportamiento del segundo pozo perforado en el proyecto en el horizonte temporal a 12 meses, es decir, que se manejaran los costos de la perforación del segundo pozo para la campaña de perforación de los siguientes 12 pozos. Para perforar este pozo, se requirieron 42 mallas planas para perforar la sección de 12 ¼" perforando en total 4866 pies, por otro lado, la sección de 8 ½" se implementaron un total de 18 mallas planas para 1644 pies perforados. Toda esta información y la totalidad del costo de la perforación de un pozo en este escenario se resumió en la **tabla 44**.

**Tabla 44.** Costo total de la perforación de un pozo en el escenario 2.

ITEM	Cantidad Total	USD TOTAL
Mallas planas	60	\$20,970
Barriles de fluido de perforación	4880	\$658,800
<b>TOTAL USD / POZO</b>	-	<b>\$679,770</b>

**Fuente:** elaboración propia, en base en RAMDE SOLIDS CONTROL, costos operativos de perforaciones realizadas. 2019.

**3.4.2.3 Escenario 3.** En el caso del tercer escenario del análisis financiero, es el primer escenario en el cual se implementarán las mallas piramidales plus, puesto que este escenario sigue lo realizado durante la perforación del tercer pozo de este proyecto. A partir de eso, la información recopilada del tercer pozo perforado en este proyecto se observó que, para perforar la sección de 12 ¼" se requirieron 20 mallas piramidales plus para perforar una totalidad de 6070 pies, por otro lado, para la sección de 8 ½", se perforaron 1450 pies implementando 12 mallas piramidales plus. Toda esta información y todos los costos asociados a la perforación de un pozo en este escenario se pueden observar en la **tabla 45**.

**Tabla 45.** Costo total de la perforación de un pozo en el escenario 3.

ITEM	Cantidad Total	USD TOTAL
Mallas Piramidales Plus	32	\$18,280
Barriles de fluido de perforación	4500	\$625,500
<b>TOTAL USD / POZO</b>	-	<b>\$643,780</b>

**Fuente:** elaboración propia, en base en RAMDE SOLIDS CONTROL, costos operativos de perforaciones realizadas. 2020.

**3.4.2.4 Escenario 4.** En el último escenario a evaluar, se implementarán las mallas piramidales plus en las 4 shakers FLC 503 durante la perforación de las secciones de 12 ¼” y de 8 ½” y, de esta forma, se realizarán 12 perforaciones de pozos bajo las mismas condiciones del cuarto pozo perforado en este proyecto. De esta información, es importante recordar que, para la perforación la sección de 12 ¼” en este pozo, se requirieron 18 mallas piramidales plus que permitieron perforar una totalidad de 5075 pies, mientras que, para la sección de 8 ½”, se perforó un total de 1162 pies, esto implementando en los equipos de control de sólidos primarios 12 mallas piramidales plus. Se puede observar esta información además de los costos totales de esta operación de forma resumida en la **tabla 46**.

**Tabla 46.** Costo total de la perforación de un pozo en el escenario 4.

ITEM	Cantidad Total	USD TOTAL
Mallas Piramidales Plus	30	\$17,160
Barriles de fluido de perforación	4384	\$607,184
<b>TOTAL USD / POZO</b>		<b>\$624,344</b>

**Fuente:** elaboración propia, en base en RAMDE SOLIDS CONTROL, costos operativos de perforaciones realizadas. 2020.

**3.4.3 Análisis financiero.** En este capítulo se busca estudiar la viabilidad financiera de la implementación de las mallas piramidales plus en comparación con las mallas planas o convencionales al llevar a cabo las operaciones de perforación con fluidos base aceite en la cuenca del putumayo, esto mediante la obtención del Valor Presente Neto (VPN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR).

La tasa de interés de oportunidad (TIO), es la tasa de interés máxima que el inversionista está dispuesto a sacrificar para llevar a cabo un proyecto. Para este proyecto se definió junto con Ramde Solids Control S.A.S. una TIO de 8% efectivo anual. Teniendo en cuenta que los periodos del proyecto son mensuales, y la tasa de interés de oportunidad es anual, esta se convirtió a periodos mensuales de la siguiente forma.

$$TIO \text{ efectiva mensual} = \sqrt[n]{(tasa \text{ mensual} + 1)} - 1$$

$$TIO \text{ efectiva mensual} = \sqrt[12]{(0.08 + 1)} - 1$$

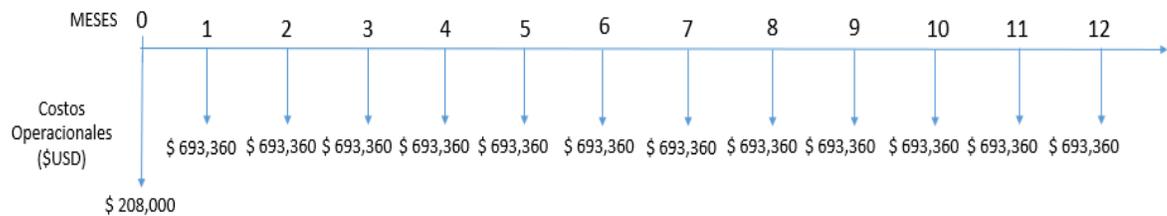
$$TIO \text{ efectiva mensual} = 0.64\%$$

**3.4.4 Flujo de caja.** El flujo de caja o flujo de efectivo no es más que el total de los ingresos menos los egresos en un horizonte temporal definido, que se prevén en una empresa o un proyecto durante este tiempo.

Una vez aclarado esto, es importante recordar que este proyecto contempla únicamente egresos en los cuatro escenarios y, el término final a evaluar es el VPN de cada uno de ellos, así como la TIR entre la implementación de las mallas planas y las mallas piramidales plus, siendo que, el escenario que arroje el menor valor de VPN es el más rentable y además, que el valor de la TIR sea positivo, generando un panorama eficiente y rentable para el control de sólidos primarios en las operaciones de perforación de la compañía operadora que contrate los servicios de Ramde Solids Control S.A.S.

A continuación, se muestra el flujo de caja de cada uno de los escenarios analizados con el VPN.

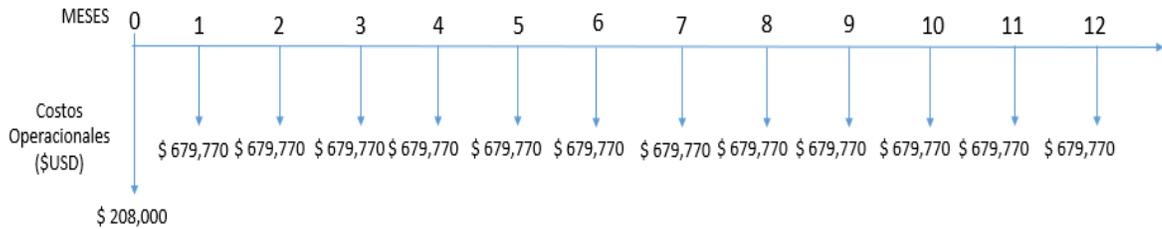
**3.4.4.1 Escenario 1.** Para este escenario como se explicó anteriormente, se replicaron las condiciones del primer pozo perforado de este proyecto para el horizonte de 12 meses.



$$\begin{aligned} VPN(0.00064) &= \frac{693.360}{(1 + 0.0064)^1} + \frac{693.360}{(1 + 0.0064)^2} + \frac{693.360}{(1 + 0.0064)^3} + \frac{693.360}{(1 + 0.0064)^4} \\ &+ \frac{693.360}{(1 + 0.0064)^5} + \frac{693.360}{(1 + 0.0064)^6} + \frac{693.360}{(1 + 0.0064)^7} + \frac{693.360}{(1 + 0.0064)^8} + \frac{693.360}{(1 + 0.0064)^9} \\ &+ \frac{693.360}{(1 + 0.0064)^{10}} + \frac{693.360}{(1 + 0.0064)^{11}} + \frac{693.360}{(1 + 0.0064)^{12}} - 208.000 \end{aligned}$$

$$VPN(0.0064) = \$7.774.555 \text{ USD}$$

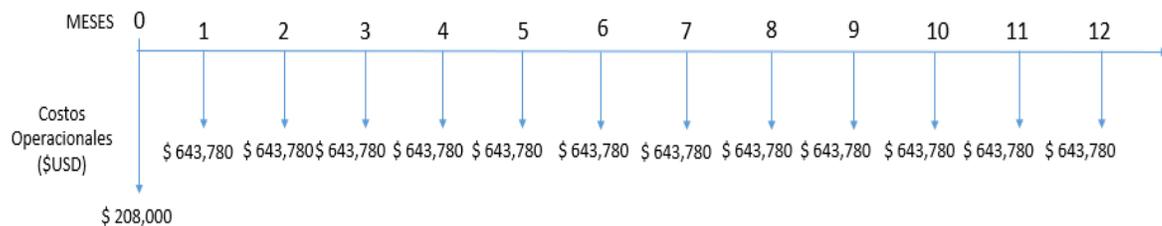
**3.4.4.2 Escenario 2.** En este escenario se utilizaron las condiciones de la perforación del segundo pozo perforado en este proyecto como base para la proyección de 12 meses.



$$\begin{aligned}
 VPN(0.00064) &= \frac{679.770}{(1 + 0.0064)^1} + \frac{679.770}{(1 + 0.0064)^2} + \frac{679.770}{(1 + 0.0064)^3} + \frac{679.770}{(1 + 0.0064)^4} \\
 &+ \frac{679.770}{(1 + 0.0064)^5} + \frac{679.770}{(1 + 0.0064)^6} + \frac{679.770}{(1 + 0.0064)^7} + \frac{679.770}{(1 + 0.0064)^8} + \frac{679.770}{(1 + 0.0064)^9} \\
 &+ \frac{679.770}{(1 + 0.0064)^{10}} + \frac{679.770}{(1 + 0.0064)^{11}} + \frac{679.770}{(1 + 0.0064)^{12}} - 208.000
 \end{aligned}$$

$$VPN(0.0064) = \$7.618.095 \text{ USD}$$

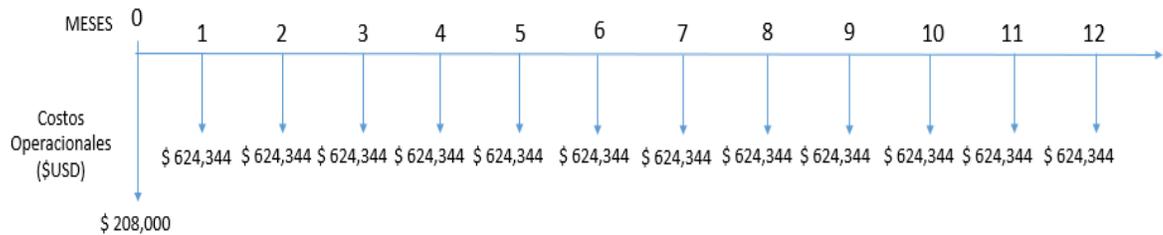
**3.4.4.3 Escenario 3.** Este es el primer escenario en el que se evalúa la implementación de las mallas piramidales plus en las shakers, debido a que replica las condiciones de la perforación del tercer pozo perforado durante este proyecto para la campaña de perforación proyectada de 12 meses.



$$\begin{aligned}
 VPN(0.00064) &= \frac{643.780}{(1 + 0.0064)^1} + \frac{643.780}{(1 + 0.0064)^2} + \frac{643.780}{(1 + 0.0064)^3} + \frac{643.780}{(1 + 0.0064)^4} \\
 &+ \frac{643.780}{(1 + 0.0064)^5} + \frac{643.780}{(1 + 0.0064)^6} + \frac{643.780}{(1 + 0.0064)^7} + \frac{643.780}{(1 + 0.0064)^8} + \frac{643.780}{(1 + 0.0064)^9} \\
 &+ \frac{643.780}{(1 + 0.0064)^{10}} + \frac{643.780}{(1 + 0.0064)^{11}} + \frac{643.780}{(1 + 0.0064)^{12}} - 208.000
 \end{aligned}$$

$$VPN(0.0064) = \$7.203.748 \text{ USD}$$

**3.4.4.4 Escenario 4.** Finalmente, en el escenario 4 se llevó a cabo un análisis de la campaña de perforación de 12 meses utilizando las condiciones que se registraron durante la perforación del cuarto y último pozo de este proyecto con el fin de evaluar su viabilidad financiera a largo plazo y para llegar a hacer una comparación significativa con los anteriores 3 escenarios.



$$\begin{aligned}
 VPN(0.00064) &= \frac{624.344}{(1 + 0.0064)^1} + \frac{624.344}{(1 + 0.0064)^2} + \frac{624.344}{(1 + 0.0064)^3} + \frac{624.344}{(1 + 0.0064)^4} \\
 &+ \frac{624.344}{(1 + 0.0064)^5} + \frac{624.344}{(1 + 0.0064)^6} + \frac{624.344}{(1 + 0.0064)^7} + \frac{624.344}{(1 + 0.0064)^8} + \frac{624.344}{(1 + 0.0064)^9} \\
 &+ \frac{624.344}{(1 + 0.0064)^{10}} + \frac{624.344}{(1 + 0.0064)^{11}} + \frac{624.344}{(1 + 0.0064)^{12}} - 208.000
 \end{aligned}$$

$$VPN(0.0064) = \$6.979.984 \text{ USD}$$

**3.4.5 Tasa interna de retorno.** Al momento de evaluar este proyecto con la metodología de la TIR, se tomó en cuenta que la inversión que requiere Ramde Solids Control S.A.S. solo para rentar a la compañía operadora una shaker FLC 503 sería de 52.000 USD, lo que significaría una inversión inicial de 208.000 USD para adquirir las 4 shakers FLC 503 que se implementaron durante la perforación de los 4 pozos trabajados durante este proyecto. A partir de esto, se realizó el cálculo de la TIR con el fin de demostrar que al implementar las mallas piramidales plus el retorno de la inversión será mayor que con las mallas planas. Se promedió los costos operativos mensuales entre los escenarios 1 y 2 y los escenarios 3 y 4, con el fin de llegar a un promedio entre ambos tipos de malla, para así, poder determinar qué tipo de malla representaría un saldo favorable para la compañía operadora, siendo que para el panorama evaluado con las mallas piramidales plus fue de 52.503 USD mensuales. Una vez obtenida toda esta información, se procedió a realizar el cálculo de la TIR.

$$\begin{aligned}
0 = & \frac{52.503}{(1 + TIR)^1} + \frac{52.503}{(1 + TIR)^2} + \frac{52.503}{(1 + TIR)^3} + \frac{52.503}{(1 + TIR)^4} \\
& + \frac{52.503}{(1 + TIR)^5} + \frac{52.503}{(1 + TIR)^6} + \frac{52.503}{(1 + TIR)^7} + \frac{52.503}{(1 + TIR)^8} + \frac{52.503}{(1 + TIR)^9} \\
& + \frac{52.503}{(1 + TIR)^{10}} + \frac{52.503}{(1 + TIR)^{11}} + \frac{52.503}{(1 + TIR)^{12}} - 208.000
\end{aligned}$$

$$TIR = 23.17 \%$$

Una vez obtenido el valor la TIR, es válido afirmar que, gracias a los beneficios técnicos que ofrece el diseño innovador de las mallas piramidales plus, se recupera un mayor porcentaje de inversión de lo que se recuperaría implementando en este tipo de proyectos las mallas planas, a partir de que se tomó como base para esta comparación, que la TIR para el caso de las mallas planas, es igual la TIO.

Teniendo en consideración el VPN y la TIR, la mejor opción para una campaña de perforación de doce meses la opción más rentable es implementar las mallas piramidales plus en los equipos primarios de control de sólidos, pues le representa un ahorro en costos a dólares de hoy de **USD** 52.000, que corresponde al 7,85%, y una tasa interna de retorno de 23,17 % frente a las mallas planas, y se observa que a nivel de costos operacionales, se presenta una disminución, generando una ganancia superior.

#### 4. CONCLUSIONES

- Se registró que, la tendencia de los cortes de perforación al implementar las mallas planas durante la perforación de los primeros pozos de este proyecto de investigación se mantiene en un 23% de presencia de agua y un 26% de presencia de aceite en promedio en los residuos de las shakers FLC 503, con una eficiencia de remoción de sólidos del 60% en promedio, lo que representa un comportamiento habitual en estas mallas.
- Los porcentajes de agua observados en los cortes de perforación del equipo al implementar las mallas piramidales plus en las shaker FLC 503 fueron del 18% mientras que la presencia de aceite en ellos fue del 20%, además de esto, la eficiencia de remoción de sólidos alcanzó el 72%, resultando en que este diseño de malla presenta un desempeño por encima del promedio observado en este tipo de operaciones.
- Al evaluar los porcentajes de sólidos presentes en los residuos al implementar ambos tipos de malla, se pudo observar que las mallas piramidales plus lograron remover un 21% más de partículas y recortes sólidos presentes en el fluido de perforación tratado en las shakers FLC 503, representando una menor presencia de estos en el fluido que se desea reutilizar.
- A partir de los resultados de la prueba de densidad del fluido de perforación y a pesar de la anomalía observada en la sección de 8 ½" en el pozo 4, en promedio las mallas piramidales plus lograron reducir un 21% más el peso del fluido recuperado del pozo que las mallas planas, facilitando de esta forma el reacondicionamiento de este fluido para su pronta reutilización.
- El área de secado efectiva comparada en el análisis técnico da una impresión de la alta eficiencia de las mallas piramidales plus sobre las mallas planas, al tener un 126% más de área disponible para tratar los recortes y sólidos presentes en el fluido recuperado en ambas secciones perforadas.
- Luego de analizar y comparar los resultados de cada una de las pruebas de tamiz realizadas, es claro que las mallas piramidales plus tienen un desempeño superior al separar las cargas líquidas de las cargas sólidas presentes en el fluido de perforación recuperado de al menos 19% más que las mallas planas.

- Al trabajar con las mallas piramidales plus, fue necesario utilizar un 47% menos de la cantidad de mallas planas requeridas para perforar las mismas secciones en una zona geológica similar, lo que se vio reflejado en menores tiempos no operativos y menor inversión en la totalidad de las herramientas
- Una vez realizado el estudio financiero, se determinó que la implementación las mallas piramidales plus en una campaña de 12 perforaciones de acuerdo con el VPN podría ahorrarle a la compañía operadora más de 600,000 USD, lo que representaría un 7,85% menos de inversión necesaria a valor de hoy.
- A partir de los resultados obtenidos en el cálculo de la TIR, al implementar las mallas piramidales plus se obtendría un 23,17% de retorno a la inversión en comparación de lo que se obtendría de retorno al implementar las mallas planas.
- Una vez analizados en conjunto los resultados tanto técnicos como financieros de este proyecto de investigación, se determinó que al implementar las mallas piramidales plus existe una oportunidad más viable tanto de inversión como de facilidades operativas para la compañía operadora que decida tomar los servicios de Ramde Solids Control S.A.S.

## 5. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar a futuro un análisis tanto técnico como financiero entre las mallas piramidales plus de Derrick con las que se trabajó en este proyecto y las mallas piramidales de Derrick.
- Se recomienda desarrollar un análisis basado en la variación de las condiciones de trabajo de las shakers implementando las mismas mallas, esto con el fin de determinar las condiciones óptimas de trabajo de estos equipos con estas mallas.
- Llevar a cabo un análisis entre las mallas evaluadas durante este proyecto en zonas con diferentes condiciones geológicas, con el fin de comprobar la superioridad de las mallas piramidales plus en cualquier tipo de formación geológica.
- Ampliar este estudio a los mecanismos de disposición de los sólidos y recortes separados en los equipos de control de sólidos trabajados durante este proyecto con el fin de aminorar el impacto que el tipo fluido de perforación implementado pueda ocasionar al medio ambiente.

## BIBLIOGRAFÍA

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Manual de fluidos de perforación. Dallas-Texas. 2001.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Recommended practice on drilling fluids processing systems evaluation. 2004.

ARBONES, Eduardo A. Ingeniería económica. Volumen 32 de Productiva Series, 1989.

BACA, Guillermo. Ingeniería económica. Bogotá: Fondo educativo panamericano, 2005.

DAHL, Bjorn; SAASEN, Arlid and OMLAND, Tor Henry. SPE-103934-PA. 2008

AASE, Bodil; JENSEN, Ellen Katrine; VESTBAKKE, Anne Turid Lian; KNUDSEN, Bjarte Sivert; HALDORSEN, Frode; YSTED, Arvid; STORSLETT, Eystein Ove; STEINNES, Iren; ENGER, Jorund; ELIASSEN, Einar Knut; OMLAND, Tor Henry. SPE-159894-PA, 2013.

DERRICK. Flc 503 flo-line® cleaner sgx motor maintenance & operation manual. Houston-Texas, 2011.

ECOPETROL. Manual de operaciones de perforación. 1994. versión 1.

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

MI SWACO. Curso de control de sólidos. 2004.

RAMDE SOLIDS CONTROL. Instructivo para la determinación de la remoción de sólidos en los shakers. 2017.

SCHLUMBERGER, Oilfield Glossary. [sitio web]. [Consultado: 09 de febrero de 2020]. Disponible en:  
[https://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/s/shale\\_shaker.aspx/](https://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/s/shale_shaker.aspx/)

## **ANEXOS**

# ANEXO A

## API RP 13C (ISO 13501)

API DESIGNATION (MICRON RANGE)	EXISTING SCREEN NAME	SHAKER	API D100 CUT POINT	API CONDUCTANCE				NBOA (SQ. FT.)
				FLAT	PMD	PNN	PMD+	
API 230 (>58.0 to 69.0 µm)	Derrick DF-A230	All Derrick Shakers	60	0.52	0.71		1.00	*
	BRANDT VNM PXL 230	COBRA Series, LCM-3D	68	0.72				5.27
	BRANDT PNN PXL 230	COBRA Series, LCM-3D	68			0.65		7.43
	M-I SWACO XR 325J	VSM 300	61	0.66				4.60
	M-I SWACO XL 325C/J	MONGOOSE & MEERKAT Series	58	0.55				5.30
	M-I SWACO HC 325C/J	MONGOOSE & MEERKAT Series	62	0.79				5.30
API 200 (>69.0 to 82.5)	Derrick DF-A200	Hyperpool	72	-	0.93		1.37	*
	Derrick DX-A200	All Derrick Shakers	73	0.94	0.95		1.46	*
	BRANDT VNM RHD 330	COBRA Series, LCM-3D	73	1.01				5.38
	BRANDT VNM PXL 200	COBRA Series, LCM-3D	78	0.93				5.27
	BRANDT PNN PXL 200	COBRA Series, LCM-3D	80			0.75		7.43
	BRANDT VSM 300 RHD 330	VSM 300	77	0.63				3.59
	BRANDT VSM 300 PXL 200	VSM 300	80	1.12				3.59
	M-I SWACO XR 325C/J	MONGOOSE & MEERKAT Series	72	0.81				5.30
	M-I SWACO XL 270C/J	MONGOOSE & MEERKAT Series	74	0.91				5.30
	M-I SWACO XL 230C/J	MONGOOSE & MEERKAT Series	80	1.13				5.30
	M-I SWACO HC 270C/J	MONGOOSE & MEERKAT Series	74	1.10				5.30
	API 170 (>82.5 to 98.0)	Derrick DX-A170	All Derrick Shakers	85	1.20	1.36		1.61
BRANDT VNM RHD 300		COBRA Series, LCM-3D	85	1.33				5.38
BRANDT VNM PXL 170		COBRA Series, LCM-3D	94	1.24				5.27
BRANDT PNN PXL 170		COBRA Series, LCM-3D	95			0.97		7.43
BRANDT VSM 300** RHD 280		VSM 300	94	0.98				3.59
BRANDT VSM 300 PXL 170		VSM 300	95	1.49				3.59
M-I SWACO XR 220J		VSM 300	88	0.99				4.60
M-I SWACO XR 270C/J		MONGOOSE & MEERKAT Series	86	0.84				5.30
M-I SWACO XL 220C/J		MONGOOSE & MEERKAT Series	92	1.18				5.30
API 140 (>98.0 to 116.5)		Derrick DX-A140	All Derrick Shakers	104	1.61	1.92		2.42
	BRANDT VNM RHD 285	COBRA Series, LCM-3D	98	1.12				5.38
	BRANDT VNM PXL 140	COBRA Series, LCM-3D	112	1.57				5.27
	BRANDT PNN PXL 140	COBRA Series, LCM-3D	113			1.38		7.43
	BRANDT VSM 300 RHD 255	VSM 300	115	0.97				3.59
	BRANDT VSM 300 PXL 140	VSM 300	107	1.57				3.59
	M-I SWACO XR 200J	VSM 300	116	1.21				4.60
	M-I SWACO XR 230C/J	MONGOOSE & MEERKAT Series	110	0.99				5.30
API 120 (>116.5 to 137.5)	M-I SWACO XL 200C/J	MONGOOSE & MEERKAT Series	103	1.48				5.30
	Derrick DX-A120	All Derrick Shakers	118	1.64	1.92		2.46	*
	BRANDT VNM RHD 280	COBRA Series, LCM-3D	117	1.59				5.38
	BRANDT VNM PXL 120	COBRA Series, LCM-3D	133	1.69				5.27
	BRANDT PNN PXL 120	COBRA Series, LCM-3D	136			1.53		7.43
	BRANDT VSM 300 RHD 215	VSM 300	135	1.50				3.59
	BRANDT VSM 300 PXL 120	VSM 300	135	2.10				3.59
	M-I SWACO XR 150J	VSM 300	117	1.87				4.60
API 100 (>137.5 to 165.0)	M-I SWACO XR 200C/J	MONGOOSE & MEERKAT Series	119	1.40				5.30
	M-I SWACO XL 150C/J	MONGOOSE & MEERKAT Series	126	1.64				5.30
	Derrick DX-A100	All Derrick Shakers	142	2.18	2.33		3.20	*
	BRANDT VNM RHD 215	COBRA Series, LCM-3D	142	2.03				5.38
	BRANDT VNM PXL 100	COBRA Series, LCM-3D	159	1.87				5.27
	BRANDT PNN PXL 100	COBRA Series, LCM-3D	165			1.66		7.43
	BRANDT VSM 300 PXL 100	VSM 300	159	2.50				3.59
	M-I SWACO XR 120J	VSM 300	142	2.63				4.60
API 80 (>165.0 to 196.0)	M-I SWACO XR 165C/J	MONGOOSE & MEERKAT Series	147	1.65				5.30
	M-I SWACO XL 120C/J	MONGOOSE & MEERKAT Series	141	2.17				5.30
	M-I SWACO HC 200C/J	MONGOOSE & MEERKAT Series	142	1.96				5.30
	Derrick DX-A80	All Derrick Shakers	170	2.50	3.09		4.14	*
	BRANDT VNM RHD 180	COBRA Series, LCM-3D	168	2.46				5.38
	BRANDT VNM PXL 80	COBRA Series, LCM-3D	186	2.88				5.27
	BRANDT PNN PXL 80	COBRA Series, LCM-3D	195			2.01		7.43
	BRANDT VSM 300 RHD 180	VSM 300	167	1.79				3.59
API 80 (>165.0 to 196.0)	BRANDT VSM 300 PXL 180	VSM 300	192	2.90				3.59
	M-I SWACO XR 105J	VSM 300	193	3.35				4.60
	M-I SWACO XR 120C/J	MONGOOSE & MEERKAT Series	174	2.00				5.30
	M-I SWACO XL 105C/J	MONGOOSE & MEERKAT Series	168	2.54				5.30

\*See Derrick screen panel chart for API RP 13C Non-Blanked Open Area (NBOA)

API Sand = 74-250 Microns

### API RP 13C (ISO 13501) CUT POINT NUMBERS

D100 Separation (Microns)	API Screen Number
>780.0 to 925.0	API 20
>655.0 to 780.0	API 25
>550.0 to 655.0	API 30
>462.5 to 550.0	API 35
>390.0 to 462.5	API 40
>327.5 to 390.0	API 45
>275.0 to 327.5	API 50
>231.0 to 275.0	API 60
>196.0 to 231.0	API 70
>165.0 to 196.0	API 80
>137.5 to 165.0	API 100
>116.5 to 137.5	API 120
>98.0 to 116.5	API 140
>82.5 to 98.0	API 170
>69.0 to 82.5	API 200
>58.0 to 69.0	API 230
>49.0 to 58.0	API 270
>41.5 to 49.0	API 325
>35.0 to 41.5	API 400
>28.5 to 35.0	API 450
>22.5 to 28.5	API 500
>18.5 to 22.5	API 635

Table 5 (found on page 40 and 41 of API RP 13C)



15630 Export Plaza Drive  
Houston, Texas 77032 U.S.A.  
Office: (281) 590-3003  
Toll Free: (866) DERRICK  
Fax: (281) 590-6187  
Email: info@derrick.com  
[www.Derrick.com](http://www.Derrick.com)

BRANDT, COBRA, VSM 300, and PNN are trademarks and/or registered trademarks of National Oilwell Varco. M-I SWACO, MONGOOSE, DURAFLO, and MEERKAT are trademarks and/or registered trademarks of M-I L.L.C., a Schlumberger company. XR, XL, and XF are trademarks and/or registered trademarks of Southwest Wire Cloth. © 2017 Derrick Corporation. All rights reserved. Derrick and its products indicated by trademark symbols are trademarks and/or registered trademarks of Derrick Corporation.

API Screen Panel Information Chart | 090617