

EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL SISTEMA DE ZARANDA MODULAR  
DOBLE DECK EN EL POZO LIRIA YW-12 PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN EL  
CAMPO LIRIA.

JUAN SEBASTIÁN IBÁÑEZ ORTIZ  
LUIS FELIPE MARIÑO COLMENARES

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE PETROLEOS  
BOGOTÁ D.C  
2020

EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL SISTEMA DE ZARANDA MODULAR  
DOBLE DECK EN EL POZO LIRIA YW-12 PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN EL  
CAMPO LIRIA.

JUAN SEBASTIÁN IBÁÑEZ ORTIZ  
LUIS FELIPE MARIÑO COLMENARES

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

Director  
EDILBERTO COLMENARES  
Ingeniero de Petróleos

Orientador  
SEBASTIÁN ALEJANDRO GOMEZ ALBA  
Ingeniero de Petróleos

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

Nota de aceptación (Dirección de investigaciones)

---

---

---

---

---

---

Firma docente investigador

---

Firma docente jurado 1

---

Firma docente jurado 2

Bogotá, D.C., noviembre 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. MARIA CLAUDIA APONTE GONZALEZ**

Vicerrector Administrativo y Financiero.

**Dr. RICARDO ALFONSO PEÑARANDA CASTRO**

Secretaria General.

**Dra. ALEXANDRA MEJÍA GUZMÁN**

Director de investigaciones.

**Dr. LUIS FERNANDO SANCHEZ HUERTAS**

Decano Facultad de Ingeniería.

**Ing. JULIO CESAR FUENTES ARISMENDI**

Director Programa Ingeniería de Petróleos.

**Ing. JUAN CARLOS RODRIGUEZ ESPARZA**

Las directivas de la Fundación 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 brindada.

Al ingeniero EDILBERTO COLMENARES, por su guía y asesoramiento incondicional durante todo el proyecto y que sin sus contribuciones no se habría podido culminar el proyecto de trabajo de grado.

A la ingeniera MÓNICA CRUZ que estuvo atenta al proyecto en todo momento.

Al profesor SEBASTIAN ALEJANDRO GOMEZ ALBA que nos acompañó durante todo el proceso de la realización del trabajo de grado.

## CONTENIDO

	pág.
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>20</b>
<b>1. MARCO TEÓRICO</b>	<b>23</b>
1.1 MÉTODOS Y EQUIPOS DE CONTROL DE SÓLIDOS	23
1.1.1 Sedimentación	24
1.1.2 Hidrociclones y centrífugas rotativas	24
1.1.3 Desarenador	25
1.1.4 Desilter	26
1.1.5 Bombas centrifugas	26
1.1.6 Mud cleaner	27
1.2 ZARANDA DE PERFORACIÓN	28
1.2.1 Clasificación básica de las zarandas	28
1.2.2 Clasificación de zarandas de acuerdo con el diseño	29
1.2.3 Mallas de la zaranda	31
1.3 PRUEBAS DE DESEMPEÑO DE LA ZARANDA EN CAMPO	33
1.3.1 Prueba de sólidos de baja y alta gravedad (LGS y HGS)	33
1.3.2 Vida útil de las mallas	33
1.3.3 Retención en recortes (ROC)	33
1.3.4 Capacidad de procesamiento de fluidos de perforación	34
<b>2. METODOLOGÍA Y DATOS</b>	<b>35</b>
2.1 DATOS TÉCNICOS DE LAS ZARANDAS	37
2.1.1 Propiedades de las Zarandas de perforación	37
2.1.2 Mallas usadas en la perforación	37
2.2 CONDICIONES DE TRABAJO DE LAS ZARANDAS	38
2.2.1 Columna estratigráfica Pozo LIRIA YW-12 y Pozo Offset	39
2.2.2 Estados mecánicos	40
2.2.3 Fuerza G de trabajo de las zarandas	44
2.3 FLUIDOS DE PERFORACIÓN	44
2.3.1 Pruebas del fluido de perforación	44
2.3.2 Descripción del lodo de perforación	45
2.4 PRUEBAS DE DESEMPEÑO EN CAMPO	45
2.4.1 Retención de fluido en los recortes (ROC)	46
2.4.2 LGS y HGS	47
2.4.3 Screen life	48
2.4.4 Costo de mallas	48
2.4.5 Capacidad de procesamiento	49
<b>3. RESULTADOS Y ANÁLISIS</b>	<b>50</b>

3.1 PROPIEDADES DEL LODO DURANTE LA PERFORACIÓN	50
3.2 CAPACIDAD DE PROCESAMIENTO	52
3.3 %LGS Y %HGS	54
3.3.1 %LGS	54
3.3.2 %HGS	56
3.4 RECORTES DE PERFORACIÓN (ROC)	58
3.4.1 Volumen teórico contra volumen real	58
3.4.2 Volumen de recortes zarandas vs Volumen total	60
3.4.3 Porcentaje de humedad en los recortes	62
3.4.4 Volumen de fluido perdido	64
3.5 COSTO DE MALLA	66
3.6 SCREEN LIFE	69
3.6.1 Screen life (pies perforados)	69
3.6.2 Screen life (tiempo)	70
3.7 TABLA RECAPITULACIÓN	73
<b>4. CONCLUSIONES</b>	<b>75</b>
<b>5. RECOMENDACIONES</b>	<b>77</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>78</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>80</b>



## LISTA DE TABLAS

	pág.
<b>Tabla 1.</b> Caracterización y tipos de malla	32
<b>Tabla 2.</b> Especificaciones técnicas de las zarandas de perforación	37
<b>Tabla 3.</b> Mallas zarandas modular doble deck	37
<b>Tabla 4.</b> Mallas zaranda convencional	38
<b>Tabla 5.</b> Propiedades fluido de perforación Pozo Liria YW-12	45
<b>Tabla 6.</b> Propiedades fluido de perforación Pozo Offset	45
<b>Tabla 7.</b> Propiedades promedio lodos pozo Liria YW-12	51
<b>Tabla 8.</b> Propiedades promedio lodos pozo Liria YW-12	51
<b>Tabla 9.</b> Capacidad de procesamiento pozo Liria YW-12	53
<b>Tabla 10.</b> Capacidad de procesamiento pozo Offset	53
<b>Tabla 11.</b> %LGS zaranda modular doble deck	54
<b>Tabla 12.</b> %LGS zaranda convencional	54
<b>Tabla 13.</b> %HGS zaranda modular doble deck	56
<b>Tabla 14.</b> %HGS zaranda convencional	56
<b>Tabla 15.</b> Resultados volúmenes teóricos vs obtenidos	59
<b>Tabla 16:</b> Razón secciones pozos Liria YW-12 y Offset	60
<b>Tabla 17.</b> Volumen total vs zarandas	60
<b>Tabla 18.</b> Humedad recortes Liria YW-12	62
<b>Tabla 19.</b> Humedad recortes pozo Offset	62
<b>Tabla 20.</b> Comparación volumen de fluido perdido zarandas	64
<b>Tabla 21.</b> Costos de dilución pozos Liria YW-12 y Offset	65
<b>Tabla 22.</b> Uso de mallas y costo en el pozo Liria YW-12	66
<b>Tabla 23.</b> Uso de mallas y costo en el pozo Offset	66
<b>Tabla 24.</b> Costo de mallas por pie Liria YW-12	67
<b>Tabla 25.</b> Costo de mallas por pie Pozo Offset	67
<b>Tabla 26.</b> Costo total de mallas ajustado para el pozo Offset	68
<b>Tabla 27.</b> Costo total de mallas ajustado para el pozo Liria YW-12	68
<b>Tabla 28.</b> Screen life de las mallas pozo Liria YW-12 (Uso en pies perforados)	69
<b>Tabla 29.</b> Screen life de las mallas pozo Offset (Uso en pies perforados)	69
<b>Tabla 30.</b> Screen life de las mallas pozo Liria YW-12 (Uso en días)	70
<b>Tabla 31.</b> Screen life de las mallas pozo Offset (Uso en días)	70
<b>Tabla 32.</b> Mallas desgastadas pozo Liria YW-12	71
<b>Tabla 33.</b> Mallas desgastadas pozo Offset	71
<b>Tabla 34.</b> Tabla recapitulación	73

## LISTA DE FIGURAS

	<b>pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Esquema de equipos de control de sólidos	23
<b>Figura 2.</b> Hidrociclón	24
<b>Figura 3.</b> Centrifuga rotativa	25
<b>Figura 4.</b> Desarenador	25
<b>Figura 5.</b> Desilter	26
<b>Figura 6.</b> Bomba centrífuga	27
<b>Figura 7.</b> Mud cleaner	27
<b>Figura 8.</b> Zaranda de perforación	28
<b>Figura 9.</b> Movimiento zarandas	29
<b>Figura 10.</b> Zaranda single deck	30
<b>Figura 11.</b> Zaranda doble deck	30
<b>Figura 12.</b> Zaranda triple deck	31
<b>Figura 13.</b> Mallas de zaranda	32
<b>Figura 14.</b> Diagrama de flujo	36

## LISTA DE ECUACIONES

	pág.
<b>Ecuación 1.</b> Cálculo viscosidad plástica	44
<b>Ecuación 2.</b> Cálculo punto cedente	44
<b>Ecuación 3.</b> Cálculo volumen de aceite	46
<b>Ecuación 4.</b> Cálculo volumen de agua	46
<b>Ecuación 5.</b> Cálculo volúmenes sólidos	46
<b>Ecuación 6.</b> Cálculo volumen de sólidos suspendidos	47
<b>Ecuación 7.</b> Cálculo del volumen sólidos de baja gravedad	47
<b>Ecuación 8.</b> Cálculo concentración de sólidos de baja gravedad	48
<b>Ecuación 9.</b> Cálculo volumen de solidos de alta gravedad	48
<b>Ecuación 10.</b> Cálculo volumen teórico	58

## LISTA DE GRAFICAS

	pág.
<b>Grafica 1.</b> Propiedades del lodo sección A1 vs A2	51
<b>Grafica 2.</b> Propiedades del lodo sección B1 vs B2	52
<b>Grafica 3.</b> Caudal máximo Pozo Liria vs Pozo Offset	53
<b>Grafica 4.</b> Porcentaje solidos de baja gravedad Liria vs Offset	55
<b>Grafica 5.</b> Porcentaje solidos de alta gravedad Liria vs Offset	57
<b>Grafica 6.</b> Volumen teórico vs reales pozos Liria YW-12 y Offset	59
<b>Grafica 7.</b> Volumen recortes totales vs. volumen de zarandas	61
<b>Grafica 8.</b> Humedad recortes pozos Liria y Offset	63
<b>Grafica 9.</b> Comparación volumen de fluido perdido en los pozos	65

## LISTA DE ANEXOS

	<b>pág.</b>
<b>Anexo A.</b> Datos sección 26", 36" y 18 ½" pozo Liria YW-12	81
<b>Anexo B.</b> Pruebas fluido de perforación	82

## ABREVIATURAS

<b>\$USD</b>	Dólar Americano.
<b>°F</b>	Grados Fahrenheit.
<b>μ</b>	Viscosidad.
<b>API</b>	American Petroleum Institute.
<b>bbl</b>	Barril.
<b>Clg</b>	Concentración de sólidos de baja gravedad.
<b>cP</b>	Centipoise.
<b>Fm</b>	Formación.
<b>Ft</b>	Unidad de Longitud, Pies.
<b>ft/hr</b>	Pies por hora.
<b>g/cm<sup>3</sup></b>	Gramo por centímetro cubico.
<b>Gal/min</b>	Galones por minuto.
<b>HGS</b>	High gravity solids (sólidos de alta gravedad).
<b>in</b>	Pulgadas.
<b>lb/100ft<sup>2</sup></b>	Libras por cien pies cuadrados.
<b>LGS</b>	Low gravity solids (sólidos de baja gravedad).
<b>MD</b>	Measured depht (Profundidad medida).
<b>ml</b>	Mililitro.
<b>OBM</b>	Lodo base aceite.
<b>Pb</b>	Densidad material densificante.
<b>Pf</b>	Densidad del filtrado.
<b>PI</b>	Densidad solidos de baja gravedad.
<b>Po</b>	Densidad del aceite.
<b>ppg(lpg)</b>	Pound per gallon (libras por galón).
<b>Pv</b>	Viscosidad plástica.
<b>ROC</b>	Retention on cuttings (retención de los líquidos en los recortes).

<b>ROP</b>	Rate of penetration (rata de penetración).
<b>RPM</b>	Revoluciones por minuto
<b>Seg/Qtgal</b>	Segundos por cuarto de galón.
<b>SG</b>	Gravedad especifica.
<b>TVD</b>	High gravity solids (sólidos de alta gravedad)
<b>Vo</b>	Volumen de aceite
<b>Vs</b>	Volumen de solidos
<b>Vss</b>	Volumen de sólidos suspendidos.
<b>Vw</b>	Volumen de agua
<b>WBM</b>	Lodo base agua.
<b>Wm</b>	Densidad del lodo.
<b>YP</b>	Yield point (punto de cedencia).

## GLOSARIO

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

**CASING:** una tubería de gran diámetro que se baja en un agujero descubierto y se cementa en el lugar.

**CAVINGS:** trozos de roca provenientes del pozo pero que no fueron removidos directamente por la acción de la barrena. Los derrumbes pueden ser en forma de astillas, escamas, bloques y varias otras formas de la roca, normalmente desprendidas de secciones de lutitas que se han vuelto inestables. La forma del derrumbe puede indicar por qué se produjo el fallo de la roca. El término se utiliza típicamente en plural.

**DILUCIÓN:** el proceso de adicionar lodo nuevo (o fase líquida) para reducir el contenido de sólidos y mantener las propiedades del fluido de perforación en el sistema activo.

**ESPESOR:** distancia perpendicular entre la base y el tope de un estrato.

**ESTRATIFICACIÓN:** disposición paralela o subparalela que toman las capas de las rocas sedimentarias, durante su sedimentación. La estratificación puede ser concordante, discordante y cruzada. Es concordante cuando las capas se superponen unas a otras en sucesión de continuidad. Es discordante cuando las capas superiores sobre yacen a las inferiores formando un ángulo.

**ESTRATO:** es la roca formada por la sedimentación de fragmentos o partículas provenientes de la desintegración de las rocas pre-existentes o de la precipitación de las soluciones químicas acuosas. El estrato es de origen sedimentario y puede encontrarse tanto en rocas sedimentarias como metamórficas. Los estratos pueden ser: concordantes, discordantes y cruzados. También pueden ser divergentes o convergentes según su buzamiento.

**FALLA:** desplazamiento de un bloque rocoso con respecto a otro colindante a éste o de ambos bloques, a través de un plano denominado "plano de falla". Las fallas

**FORMACION:** la unidad fundamental de la litoestratigrafía, es un cuerpo de estratos de un tipo predominante o una combinación de diversos tipos.



son producto de esfuerzos tectónicos, producto de la epirogénesis, orogenia, diastrofismo, tectónica de placas o cualquier otro tipo de desplazamiento de parte de la corteza. Una falla ocasiona discontinuidad de las estructuras geológicas.

**MALLAS PLANAS:** también conocidas como mallas bidimensionales. Son mallas que tienen superficies rígidas y fáciles de tensionar al ser instaladas; el área disponible para el tamizado es reducida.

**MALLAS PIRAMIDALES:** son mallas de placa perforada con una superficie corrugada que va paralelamente al flujo del fluido. Esta configuración proporciona mayor área de tamizado que la bidimensional.

**MICRON:** es una unidad de longitud equivalente a una milésima parte de un milímetro ( $1 \text{ micron} = 1 \times 10^{-3} \text{ milímetros}$ ).

**POZO OFFSET:** pozo de referencia, se usa la información de estos pozos (litología, registros de pozo, pruebas de campo, etc.), para tratar de hacer analogías con un pozo que se encuentre en la misma zona de estudio.

**RECORTES DE PERFORACIÓN:** trozos de roca sacados por la barrena de perforación al cortar la roca en el agujero. Los recortes son distintos de los derrumbes, detritos rocosos que se astillan como consecuencia de la inestabilidad del pozo. En la inspección visual de la roca en el filtro (cedazo) de la zaranda vibratoria normalmente se distinguen los recortes de los derrumbes.

**REOLOGÍA:** propiedad sumamente importante de los lodos de perforación, los fluidos de perforación de yacimiento, los fluidos de reacondicionamiento y terminación, los cementos y los fluidos y píldoras especializados. La reología del lodo se mide continuamente durante la perforación y se ajusta con aditivos o dilución para cumplir con las necesidades de la operación.

**RETORTA:** una unidad de destilación de lodos que se utiliza para medir el contenido de agua, aceite y sólidos de un lodo. Se compone de un cuerpo cilíndrico provisto de un portamuestras para el lodo, un elemento calefactor (o un horno) y un condensador de aluminio. Un receptor de vidrio graduado atrapa y mide los volúmenes de agua y aceite que se condensan del lodo. Los dispositivos de retorta están disponibles en tres tamaños, 10, 20 y 50 cm<sup>3</sup>, que son los volúmenes de lodo colocados en el vaso para la muestra. Los datos obtenidos del ensayo son el volumen porcentual de agua, aceite y sólidos de retorta.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup>SCHLUMBERGER, Oilfield Glossary, (Sitio web). 2019.

## RESUMEN

En el presente trabajo de grado se realizó una evaluación del desempeño de la zaranda modular doble deck en el pozo Liria YW-12 del campo Liria ubicado dentro del Bloque Recetor en comparación a una zaranda convencional en un pozo Offset ubicado en la cercanía del pozo Liria YW-12. Para realizar la evaluación de desempeño, se estudiaron la generalidades y características de las zarandas, las propiedades del fluido de perforación y las mallas utilizadas.

Para el análisis del desempeño de las zarandas usadas en la perforación de los pozos se llevaron a cabo cinco pruebas de campo: 1. Retención de los fluidos en los recortes (ROC), 2. Capacidad de procesamiento, 3. Porcentaje de sólidos de baja gravedad y alta gravedad, 4. Costos de mallas y 5. Vida útil de mallas (screen life). Se compararon ambas zarandas de acuerdo con los resultados obtenidos durante las pruebas en las secciones denominadas A1-B1 en el pozo Liria YW-12 y A2-B2 en el pozo Offset.

Los resultados obtenidos demostraron que la zaranda modular doble deck presenta mejoras en la separación de sólidos de baja gravedad (LGS) entre 17% y 30%, en la retención de fluidos en los recortes reflejado en los costos dilución un 23,6%, en el costo de mallas un 2% y un screen life más longevo, representando una gran mejora para el sistema de control de sólidos.

A partir de los resultados obtenidos se determinó que la zaranda modular doble deck es la mejor opción para implementar en futuras perforaciones en el campo Liria.

Palabras clave: Sistema de control de sólidos, Zaranda, Perforación, Campo Liria

## ABSTRACT

In this undergraduate work, an evaluation of the performance of the double deck modular shaker was made in the Liria YW-12 well in the Liria field, located in the Recetor block, in comparison to a conventional shaker in an offset well located nearby the Liria YW-12 well. In order to do the performance evaluation, the shaker's generalities and characteristics were described along with the properties of the drilling fluid and the meshes used during the drilling.

For the analysis of the performance of the shakers used in the drilling of the wells, five field tests were made, retention of fluids in cuttings (ROC), processing capacity, percentage of low and high gravity solids, screen life and cost of these. In order to technically compare both shakers according to the results obtained during the tests, in the sections named A1-B1 in the Liria YW-12 well and A2-B2 in the Offset well.

The technical evaluation was done with the results obtained from the tests, where it was evidenced that, compared to a conventional shaker, the double deck modular shaker has improvements in the separation of low gravity solids in a value between 17%-30%; retention of fluids in the cuttings, reflected in an improvement in the dilution cost of 23,6%; 2% lower cost of screens and longer screen life, these represent a great improvement for the solids control system.

Based on the performance results, it was determine that the double deck Modular Shaker is the best option to be implemented in future proyects in the Liria field.

Keywords: Solid control system, Shaker, Drilling, Liria Field

## INTRODUCCIÓN

Una de las etapas más importantes durante las Operaciones de perforación se conoce bajo el nombre de Control de Sólidos. Esta se define como el proceso en el cual se persigue la eliminación y remoción de la mayor cantidad de sólidos indeseables generados durante el proceso de perforación, esto se logra mediante el uso de equipos especializados<sup>2</sup>. Para la industria es fundamental optimizar los procesos asociados a esta etapa teniendo en cuenta que su mala implementación trae consigo problemas como: incremento en costos de fluido de perforación, mayores costos de tratamiento y disposición de los recortes obtenidos durante la perforación, mayor impacto ambiental, menores tasas de ROP por no contar con los equipos suficientemente potentes para manejar altos caudales de fluido, mayores costos de mantenimiento de los equipos de control de sólidos y puede llevar incluso a problemas de estabilidad en el pozo cuando no se controlan adecuadamente.

El principal dispositivo del equipo de perforación para el sistema de control de sólidos es la zaranda la cual cumple con la función de remover los sólidos perforados del fluido de perforación<sup>3</sup>. Es por esto que constantemente se buscan maneras de mejorar la eficiencia de este equipo para disminuir costos de dilución tanto en lodos base agua como en base aceite. También se debe tener cuenta que al realizar el tratamiento y la disposición de los recortes es más costoso cuando tienen un alto contenido de fluido, siendo este incluso dañino para el medio ambiente. En este trabajo de Grado se estudiará la eficiencia en el manejo de sólidos y la disminución en los costos de tratamiento de estos en el Campo Lira de la Compañía Operadora ECOPEPETROL S.A. En este campo se ha identificado un bajo desempeño del sistema de zarandas convencionales en el control de sólidos primario con fluidos de perforación, generando una alta humectabilidad en los recortes que lleva a un mayor costo de dilución para mantener las propiedades del lodo y a un elevado costo en el tratamiento y disposición de los recortes. Este bajo desempeño del sistema también genera un costo elevado en el mantenimiento de los equipos de control de sólidos, estos problemas deben ser mitigados lo más pronto posible.

En pruebas realizadas por la compañía encargada del control de sólidos primario se realizó una comparación entre las zarandas de alto desempeño existentes y la zaranda doble deck, la cual demostró una capacidad de manejo de los fluidos mejorada entre 1,5 y 2 veces, obtención de rípios más secos y una reducción sistemática de la retención de aceite en los cortes de aprox. un 11% a menos del 9%, lo que disminuyó tanto los costos de transporte como los de disposición. Esta ventaja de desempeño permite al sistema de zaranda modular doble deck controlar mejor los sólidos de baja gravedad a lo largo del proceso de perforación, lo que reduce así los costos de dilución y logística asociados. Esta zaranda consiste en la implementación de un sistema modular de zaranda basado en una plataforma escalable que se puede pasar con facilidad de una zaranda de una única plataforma

a una doble y de una doble a otra triple. Esta reforma se puede hacer en el campo, sin que sea necesario cambiar el sistema de zaranda por completo.<sup>4</sup>

Esta tecnología será implementada y validada por primera vez en Colombia con la compañía de perforación en el pozo LIRIA YW-12 de Ecopetrol S.A. para verificar su funcionamiento y evaluar su desempeño en campo a partir de diferentes pruebas.

Basándose en el paper titulado Criticality Testing of Drilling Fluid Solids Control Equipment (Pruebas de criticidad de equipos de control de sólidos de fluidos de perforación) publicado en el año 2012 se recopilaron las pruebas más esenciales a tener en cuenta al momento de evaluar el desempeño de un equipo de control de sólidos y las estandarizaciones para comparar el rendimiento de distintas zarandas.

Teniendo en cuenta la tesis de la Universidad Industrial de Santander (UIS) titulada Análisis, Selección y guía para la implementación de un programa de mantenimiento para equipos de control de sólidos, tratamiento de aguas y fluidos de perforación, se pueden tomar los parámetros descritos en ella para seleccionar un equipo de control de sólidos basado en la criticidad, es decir la frecuencia con la que falla el equipo y las consecuencias que lleva esto.

Respecto a las mallas de las zarandas se tendrá en cuenta la metodología del trabajo de grado de la Fundación Universidad América titulado evaluación técnico-financiera para la viabilidad de las mallas piramidales en las zarandas para el control de sólidos de los Campos Castilla y Chichimene perforados con fluido de perforación base agua, en el cual se realiza la comparativa de mallas tomando en cuenta diferentes parámetros y pruebas como el porcentaje de daño.

El objetivo general del presente trabajo de grado es evaluar el desempeño del sistema de zaranda modular doble deck en el pozo LIRIA YW-12 para su implementación en el campo LIRIA. Para lograr esto se deben cumplir los siguientes objetivos específicos:

- Analizar el desempeño del sistema de zaranda convencional realizando pruebas de campo en el campo LIRIA.
- Analizar el desempeño del sistema de zaranda modular doble deck realizando pruebas de campo en el pozo LIRIA YW-12.
- Comparar el desempeño del sistema de zaranda modular doble deck con respecto a las tecnologías convencionales.
- Determinar la viabilidad del sistema de zaranda modular doble deck respecto al sistema de zaranda convencional para la perforación de futuros pozos.

En este proyecto se busca demostrar que el sistema de zaranda modular doble deck será más eficiente en campo que las tecnologías de zaranda convencionales usadas actualmente para fluidos de perforación base agua, esto reflejado en una mayor remoción de sólidos, una disminución de la retención de fluido en los recortes, mayor vida útil de las mallas y menores costos de estas.

Para lograr lo anterior, la metodología que se plantea es realizar las pruebas de campo en ambas zarandas, las cuales son: ROC (retención de líquidos en los recortes), screen life, capacidad de procesamiento de la zaranda (gal/min), Costo de mallas y LGS (sólidos de baja gravedad). Con los datos obtenidos de las pruebas se realizará una comparativa grafica para determinar cuál de los dos equipos presenta un mejor rendimiento.

El desarrollo del objetivo uno y dos que buscan describir las especificaciones de las zarandas convencionales usadas en el campo Liria y las zarandas modulares doble deck, medir su desempeño usando las mismas pruebas, las pruebas de campo a realizar son: Screen life, costo de mallas, capacidad de procesamiento, Sólidos de baja gravedad (LGS), y Retención de fluido en los recortes (ROC). La información sobre cada una de las pruebas será desarrollada en el marco teórico y los procedimientos requeridos para realizarlas se expondrán en la sección de metodología. El objetivo tres trata sobre recopilar en tablas los datos obtenidos en los objetivos anteriores y realizar graficas comparativas para poder tener un punto de referencia del desempeño de ambas zarandas en cada una de las pruebas. El objetivo 4 consiste en la determinación de la viabilidad del sistema de zaranda modular doble deck basado en los resultados del objetivo 3, evaluando así, su desempeño comparado con las zarandas convencionales que se usan en el campo Liria. Estos 2 últimos objetivos serán desarrollados en el análisis de resultados y conclusiones.

---

<sup>2</sup> PORTILLO, Javier. "Fundamentos del Control de Sólidos". Disponible en. <http://files.control-de-solidos.webnode.com.ve/200000002-308db3186c/CONTROL%20DE%20SOLIDOS.pdf>. 2016.

<sup>3</sup> ENERGY API. "Manual de fluidos de perforación. Procedimiento estándar para las pruebas de fluido de perforación". 2001.

<sup>4</sup> NOV. "A Single BRANDT SABRE™ Shaker Easily Saves Operator Over \$190k Over 5 Well Program". {en línea}. 2019.

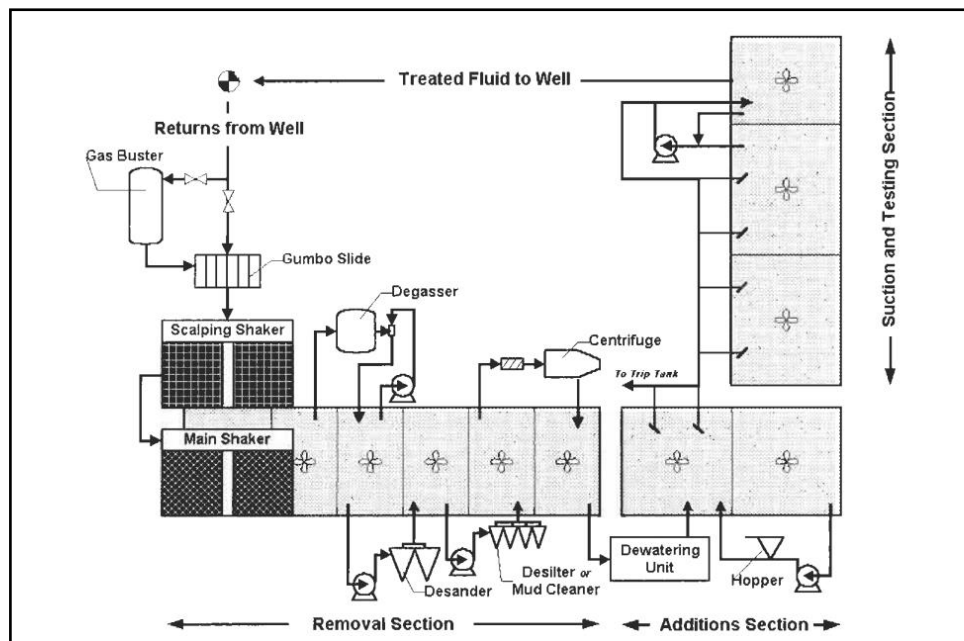
# 1. MARCO TEÓRICO

La remoción de sólidos es uno de los más importantes aspectos del control del sistema de lodo, ya 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. 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. Los sólidos y sus volúmenes también afectan los costos del lodo y del pozo, incluyendo factores como la Velocidad de Penetración (ROP), la hidráulica, las tasas de dilución, el torque y el arrastre, las presiones de surgencia y pistoneo, la pegadura por presión diferencial, la pérdida de circulación, la estabilidad del pozo, y el embolamiento de la barrena y del conjunto de fondo. A su vez, estos factores afectan la vida útil de las barrenas, bombas y otros equipos mecánicos.<sup>5</sup>

## 1.1 MÉTODOS Y EQUIPOS DE CONTROL DE SÓLIDOS

Los sólidos del lodo de perforación pueden ser separados usando los siguientes métodos y equipos.<sup>6</sup>

Figura 1. Esquema de equipos de control de sólidos.

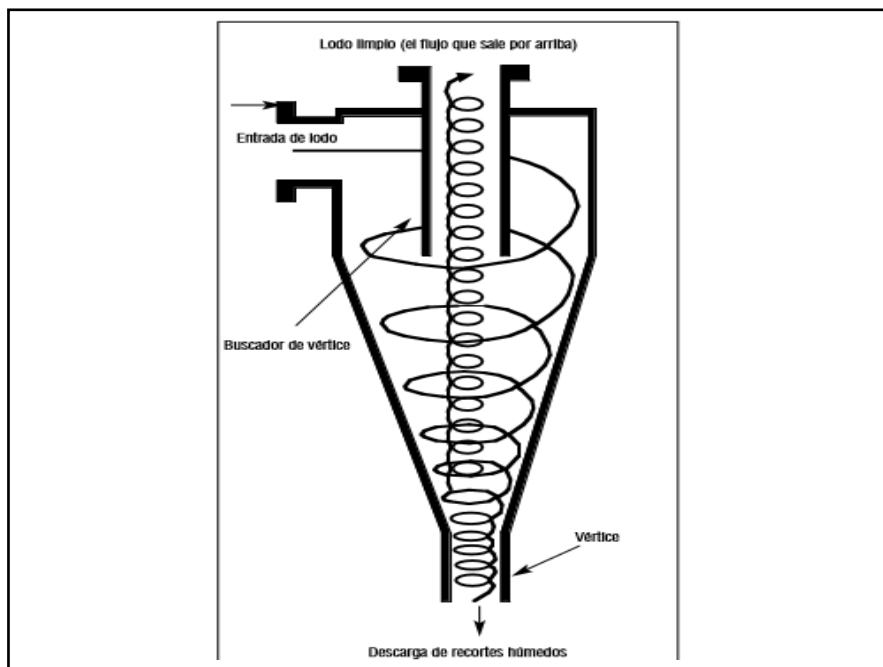


Fuente: AMERICAN ASSOC. OF DRILLING ENGINEERS. "Shale Shaker and Drilling Fluids Systems: Techniques and Technology for Improving Solids Control Management". 1999.

**1.1.1 Sedimentación.** Método de separación de dos componentes, tanto de una suspensión como de cualquier mezcla heterogénea en seco, cuando la separación de los componentes por gravedad es lo suficientemente práctico. Todos estos métodos son comunes en el sentido de que todos utilizan la gravedad como la fuerza dominante.<sup>7</sup>

**1.1.2 Hidrociclones y centrífugas rotativas.** Los hidrociclones y las centrífugas usan la fuerza centrífuga para lograr tasas de separación más altas que las que se pueden obtener mediante la sedimentación gravitacional. Estos métodos son similares a la sedimentación y están gobernados por las leyes de la física. Si se mantiene el lodo en circulación para romper los esfuerzos de gel, entonces la sedimentación de las partículas está gobernada por la ley de Stokes.<sup>8</sup>

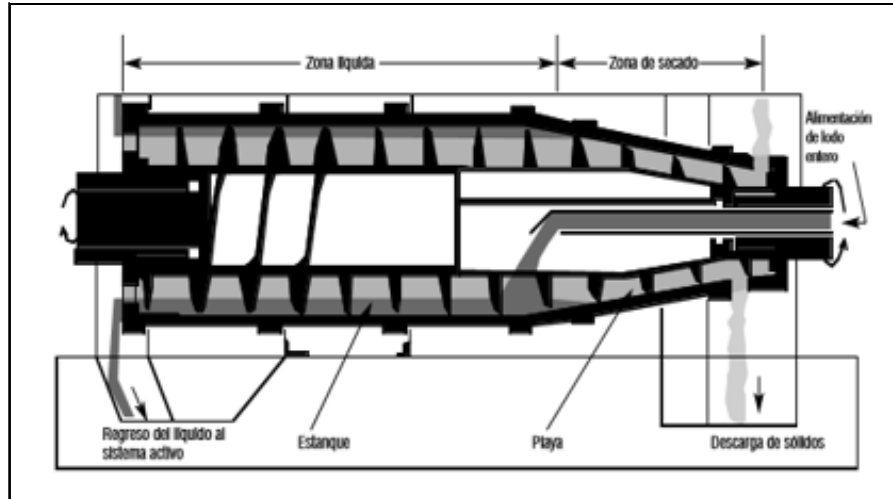
**Figura 2.** Hidrociclón.



**Fuente:** AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. "Manual de los fluidos de perforación". 2001.



**Figura 3.** Centrifuga rotativa.



**Fuente:** AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. "Manual de los fluidos de perforación". 2001.

**1.1.3 Desarenador.** Es un equipo de control de sólidos diseñado para remover arena. Este aparato puede estar formado por uno, dos o tres conos, generalmente de 10 o 12" de diámetro interno, con punto de corte de  $40\mu$ . Cada cono procesa aproximadamente 500 gal/min y debe estar en capacidad de procesar el 125% del volumen total en circulación. La cantidad de conos que integran un desarenador se toma con base al caudal máximo a usar durante la perforación del hoyo superficial, y es por ello que la mayoría de los taladros tienen instalados desarenadores de dos conos.<sup>9</sup>

**Figura 4.** Desarenador.



**Fuente:** GN SOLIDS AMERICA LLC. "Catalogo virtual GN solids". 2015. [Consultado: 02 de junio de 2020]. Disponible en: <https://www.gnsolidscontrol.com/gn-products-list>.

**1.1.4 Desilter.** Es un equipo de control de sólidos diseñado para remover sedimento, partículas entre 2 y 74 $\mu$ . Su capacidad de procesamiento depende del tamaño y cantidad de conos que lo integran. Generalmente tiene varios conos de 4" que manejan aproximadamente 50 gal/min c/u, con punto de corte de 20 $\mu$ .<sup>10</sup>

**Figura 5.** Desilter.



**Fuente:** GN SOLIDS AMERICA LLC. "Catalogo virtual GN solids". 2015. [Consultado: 02 de junio de 2020]. Disponible en: <https://www.gnsolidscontrol.com/gn-products-list>.

**1.1.5 Bombas centrifugas.** Son utilizadas en los taladros de perforación para alimentar a los desarenadores y desilter. La que alimenta al desarenador succiona del compartimiento del tanque donde llega el fluido después de pasar por las zarandas y la que alimenta al desilter succiona del compartimiento donde descarga el desarenador.<sup>11</sup>

**Figura 6.** Bomba centrífuga.



**Fuente:** SHIJIAZHUANG SUNBO PUMP CO. "Catalogo virtual Sunbo Pump Co". 2012. [Consultado: 02 de junio de 2020]. Disponible en: <https://trends.directindustry.es/shijiazhuang-sunbo-pump-co-ltd/>.

**1.1.6 Mud cleaner.** Es un equipo de control de sólidos que combina desilter, desander con una malla fina. La función básica de un limpiador de lodo consiste en hacer pasar a través de la malla fina, generalmente de 210 mesh en adelante, la descarga inferior del desilter y/o desander, recuperar barita, carbonato y descartar los sólidos perforados. Este procedimiento permite mantener libre de impurezas al fluido, sin perder densidad. Este equipo tiene una gran capacidad de procesamiento y se utiliza frecuentemente, tanto en el proceso de recuperación de fases líquidas costosas y descarte de sólidos indeseables, como en el proceso de solidificación de sólidos.<sup>12</sup>

**Figura 7.** Mud cleaner.

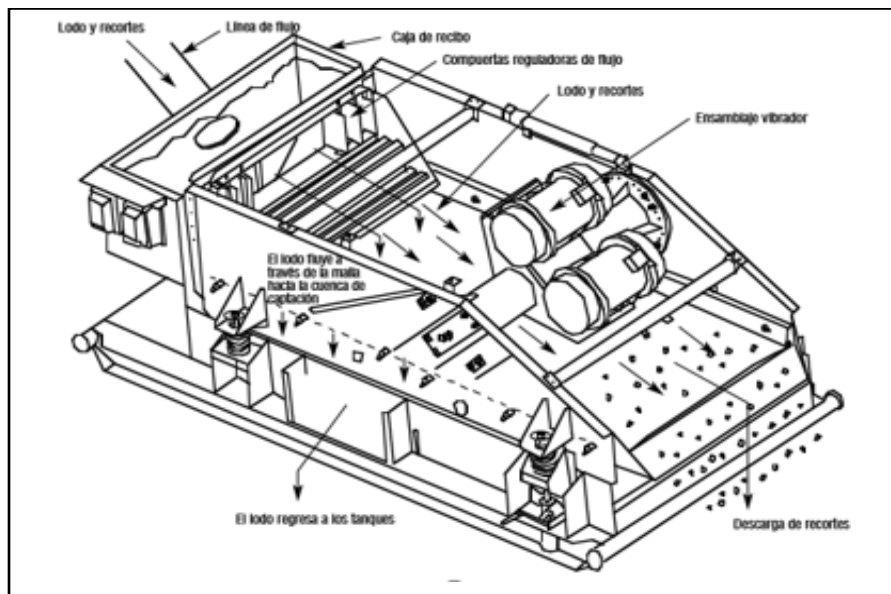


**Fuente:** SANHE NOVA MUD EQUIPMENT CO. "Catalogo virtual Sanhe Nova Mud Equipment". 2019. [Consultado: 02 de junio de 2020]. Disponible en: <http://www.muzequipment.com/products/>.

## 1.2 ZARANDA DE PERFORACIÓN

Son los dispositivos de control de sólidos más importantes, son mallas vibratorias separadoras usadas para eliminar los recortes del lodo como primera etapa de la cadena de limpieza de lodo/remoción de sólidos, las zarandas constituyen la primera línea de defensa contra la acumulación de sólidos y se diferencian de los otros equipos de eliminación de sólidos en que producen un corte de prácticamente 100% (D100) al tamaño de abertura de la malla.<sup>13</sup>

**Figura 8.** Zaranda de perforación.



**Fuente:** AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. "Manual de los fluidos de perforación". 2001.

**1.2.1 Clasificación básica de las zarandas.** Actualmente se usan tres tipos básicos de zarandas. Éstos son:

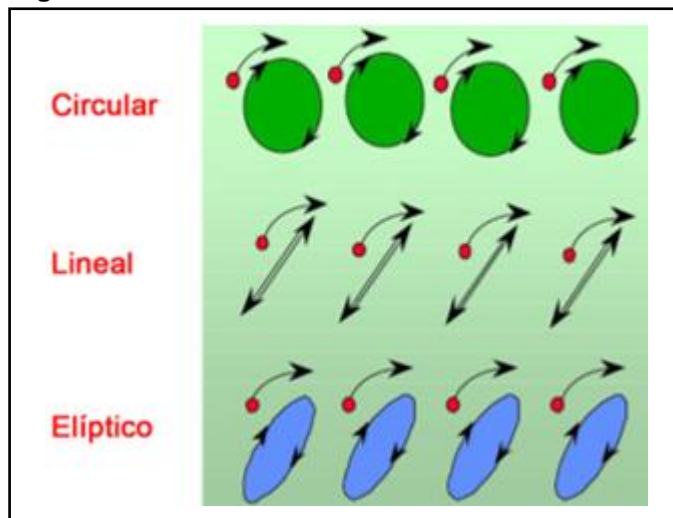
**1.2.1.1 Zaranda de movimiento circular.** Es el tipo de zaranda más antigua en el mercado y produce generalmente la fuerza centrífuga, o fuerza G, más baja y produce un transporte rápido. Este diseño es eficaz con los sólidos pegajosos de tipo arcilloso, al reducir el impacto que estos sólidos tienen sobre la superficie de la malla. Esta zaranda tiene una baja capacidad para secar los recortes; por lo tanto, los recortes descargados son generalmente húmedos.<sup>14</sup>

**1.2.1.2 Zaranda de movimiento elíptico.** Es una versión modificada de la zaranda de movimiento circular, en la cual se levanta el centro de gravedad por encima de la cubierta y se usan contrapesos para producir un movimiento "oviforme" cuya

intensidad y desplazamiento vertical varían a medida que los sólidos bajan por la cubierta. Tiene una fuerza G moderadamente alta y un transporte lento en comparación con los tipos circulares o lineales. Esta zaranda produce el mayor secado, y por lo tanto se puede usar en lodo densificado o como limpiador de lodo para secar el flujo que sale por abajo de un deslimador.<sup>15</sup>

**1.2.1.3 Zaranda de movimiento lineal.** la cual utiliza dos motores de movimiento circular montados en la misma cubierta. Los motores están configurados para rotaciones contrarias para producir una fuerza G descendente y una fuerza G ascendente cuando las rotaciones son complementarias, pero ninguna fuerza G cuando las rotaciones son contrarias. La fuerza G de la mayoría de las zarandas de movimiento lineal varía aproximadamente de 3 a 6. Es la más versátil, produciendo una fuerza G bastante alta y un transporte potencialmente rápido, según la velocidad rotacional, el ángulo de la cubierta y la posición de la malla vibratoria.<sup>16</sup>

**Figura 9.** Movimiento zarandas.



**Fuente:** PROVENSID S.A.C.I.F. "Artículo Provensid SACIF". 2002.

**1.2.2 Clasificación de zarandas de acuerdo con el diseño.** estos equipos también se pueden clasificar de acuerdo con el número de decks con los que se diseñan.

**1.2.2.1 Zaranda single deck (convencional).** Zaranda que solo posee un deck de mallas que puede usarse como primario o como scalper. El sistema scalper es el encargado de separar los sólidos de mayor tamaño usando mallas de diámetro de abertura mayor. El sistema primario es el encargado de separar los de menor tamaños usando mallas más finas.<sup>17</sup>

**Figura 10.** Zaranda single deck.



**Fuente:** AIPU MACHINERY MANUFACTURE CO. " Single Deck Shale Shakers". 2018. [Consultado: 02 de junio de 2020]. Disponible en: <https://www.solidscontrolshaker.com>.

**1.2.2.2 Zaranda doble deck.** Zaranda que posee dos decks de mallas, uno de tipo scalper y otro de tipo primario.<sup>18</sup>

**Figura 11.** Zaranda doble deck.



**Fuente:** AIPU MACHINERY MANUFACTURE CO. "Shale Shaker and Double Deck Shale Shaker". 2017. [Consultado: 02 de junio de 2020]. Disponible en: <https://www.solidscontrolshaker.com>

**1.2.2.3 Zaranda triple deck.** Zaranda que posee tres decks de mallas, uno de tipo scalper y dos de tipo primario.<sup>19</sup>

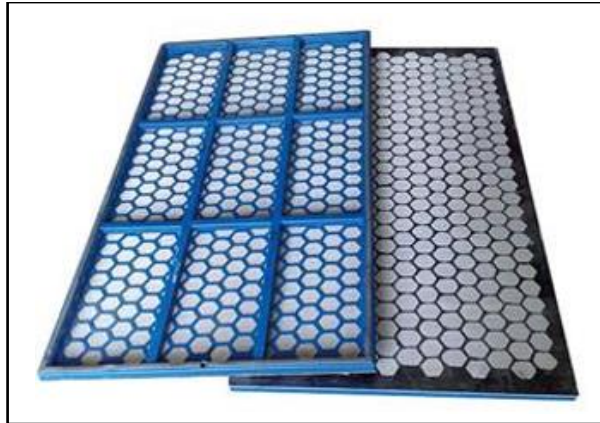
**Figura 12.** Zaranda triple deck.



**Fuente:** MI-SWACO. "MD-3 triple deck shaker brochure" . 2013. [Consultado: 02 de junio de 2020]. Disponible en: <https://www.slb.com/drilling/drilling-fluids-and-well-cementing/solids-control/shale-shakers/md-3-triple-deck-shale-shaker> .

**1.2.3 Mallas de la zaranda.** Una zaranda sólo es tan buena como el tamaño del entramado y la calidad de su malla (número de aberturas por pulgada lineal). Actualmente hay muchos tipos de mallas disponibles, cuyos rendimientos son variables. La selección de la malla se basa frecuentemente en la experiencia anterior, la cual debería ser combinada con el conocimiento de las diferentes mallas y sus diferencias de diseño y capacidad.<sup>20</sup>

**Figura 13.** Mallas de zaranda.



**Fuente:** GN Solids America LLC. "Catalogo virtual GN solids". 2015. [Consultado: 02 de junio de 2020]. Disponible en: <https://www.gnsolidscontrol.com/gn-products-list>.

**Tabla 1.** Caracterización y tipos de malla.

Designación malla	Tamiz equivalente	Punto de corte ( $\mu$ )			Conductancia(kD/mm)
		D50	D16	D84	
TBC 52	49	311	222	344	3.99
TBC 84	70	212	N/A	N/A	3.08
TBC 105	95	156	130	161	2.38
TBC 120	106	142	118	146	2.18
TBC 140	122	123	118	126	1.81
TBC 165	133	112	108	115	1.67
TBC 200	168	89	86	92	1.37
TBC 230	193	75	73	77	1.2

**Fuente:** AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. "Manual de los fluidos de perforación". 2001.

Gracias a las mallas se obtiene el punto de corte, el cual se refiere a la combinación de un tamaño micrométrico con el porcentaje del tamaño de partículas que se elimina. Las designaciones de punto de corte deberían incluir el porcentaje del tamaño indicado que se elimina. Los puntos de corte siempre deben estar indicados por la letra "D", con un subíndice que indique el porcentaje eliminado. Sin este porcentaje, será imposible comparar dos tamaños de punto de corte. Un punto de corte D50 de 40 micrones significa que 50% de las partículas de 40 micrones han sido eliminadas y que 50% permanecen en el sistema de lodo.<sup>21</sup>



### 1.3 PRUEBAS DE DESEMPEÑO DE LA ZARANDA EN CAMPO

Para la realización de este trabajo de grado se corrieron las siguientes pruebas de desempeño en las zarandas.

**1.3.1 Prueba de sólidos de baja y alta gravedad (LGS y HGS).** El ingeniero de lodos calcula la concentración de estos y otros tipos de sólidos sobre la base del peso del lodo, el análisis de retorta, las titulaciones de cloruro y otras informaciones. Los sólidos se presentan como lbm/bbl o % vol.<sup>22</sup>

**1.3.1.1 Sólidos de baja gravedad.** Un tipo de sólido de fluido de perforación que tiene una densidad menor que la barita o la hematita y que se utiliza para densificar un fluido de perforación, incluyendo los sólidos de perforación más la arcilla bentonita adicionada.<sup>23</sup>

**1.3.1.2 Sólidos de alta gravedad.** Los materiales densificantes como la barita o la hematita componen la categoría de HGS y son usados para lograr densidades altas en el fluido de perforación.<sup>24</sup>

**1.3.2 Vida útil de las mallas.** Para asegurar y mantener una buena filtración y las propiedades estables del fluido de perforación, es importante que las mallas tengan un diseño duradero para resistir el desgaste abrasivo y la fatiga causada por la vibración. La función reducida de las mallas puede tener un impacto tanto técnico como económico. Cuando se producen agujeros en las pantallas, se pueden observar varios efectos negativos. Los agujeros en las pantallas contrarrestan la eliminación de recortes. Los orificios en las pantallas permiten que los recortes se recirculen en el fluido de perforación, y los recortes se degradan en partículas más finas a medida que pasan las bombas y vuelven a ingresar al pozo. Los cortes más finos proporcionan una calidad reducida de los fluidos de perforación, como una viscosidad excesiva y una mayor pérdida de líquidos sobre el equipo de control de sólidos.<sup>25</sup>

**1.3.3 Retención en recortes (ROC).** Los recortes no se descartan de los separadores mecánicos como partículas secas. Gran parte del aumento de volumen de recortes proviene del efecto de la relación superficie-volumen. A medida que los recortes perforados se trituran por la broca o se dispersan por la interacción del fluido, se humedecen completamente con el fluido de perforación. Este fluido se conoce como ROC y es difícil de eliminar mecánicamente. Además, una cierta cantidad de fluido de perforación generalmente se descarga de los separadores mecánicos con los recortes. A menos que se tomen medidas para secar los recortes, el volumen de los recortes perforados que se descargue será más del doble que el del agujero de calibre teórico.<sup>26</sup>

**1.3.4 Capacidad de procesamiento de fluidos de perforación.** El volumen de fluido que puede procesar una zaranda y la capacidad de separación de sólidos, depende principalmente de los siguientes parámetros.

- Motores: La velocidad del motor es la que realmente influye en la capacidad de procesamiento y separación de partículas en una zaranda.
- Fuerza “G”: Es la fuerza relacionada con la capacidad que tiene la zaranda para desplazar el fluido, los cortes sobre las mallas. Esta fuerza depende del porcentaje de ajuste de las contra pesas o pesos excéntricos colocados en los extremos de los motores y en otras de las RPM de los motores.<sup>27</sup>

---

<sup>5-16,20,21</sup> ENERGY API. “Manual de fluidos de perforación, procedimiento estándar para las pruebas de fluido de perforación”. 2001.

<sup>17-19</sup> AMERICAN ASSOCIATION OF DRILLING ENGINEERS. “Shale Shakers and Drilling Fluid Systems: Techniques and Technology for improving solids control management”. 1999

<sup>22-25</sup> SOCIETY OF PETROLEUM ENGINEERS, “Criticality Testing of Drilling-Fluid Solids-Control Equipment, SPE-159894-MS”. 2013.

<sup>26</sup> SOCIETY OF PETROLEUM ENGINEERS, Petrowiki, Disponible en: <https://petrowiki.org/PetroWiki>.

<sup>27</sup> PORTILLO, Javier. “Fundamentos del Control de Sólidos”. Disponible en: <http://files.control-de-solidos.webnode.com.ve/200000002-308db3186c/CONTROL%20DE%20SOLIDOS.pdf>. 2016.

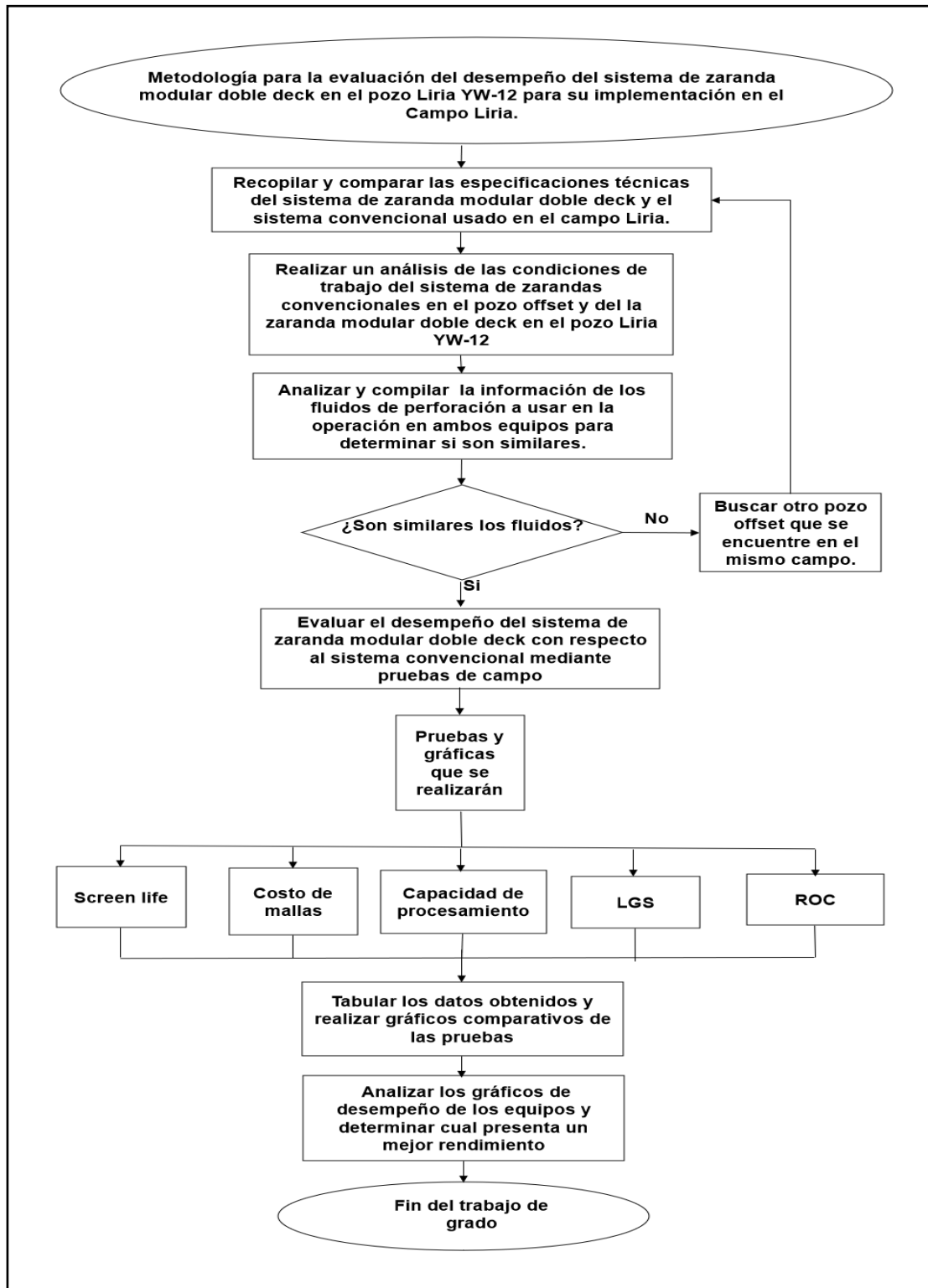
## 2. METODOLOGÍA Y DATOS

En este capítulo del trabajo de grado se presentarán las etapas necesarias para dar cumplimiento a los objetivos propuestos y se mostrarán los procedimientos necesarios y datos requeridos. El desarrollo está dividido en seis etapas principales, siendo estas las siguientes:

- Recopilación de datos técnicos de las zarandas que serán objeto de estudio, en esta etapa se mostrarán las especificaciones técnicas de ambos equipos y las mallas que utilizaron durante la perforación de ambos pozos.
- Descripción de las condiciones de trabajo de las zarandas, debido a que el desempeño de estas fue evaluado en diferentes pozos, la zaranda modular doble deck fue utilizada en el pozo Liria YW-12 y la zaranda convencional en el pozo offset (Pozo de referencia) ubicado en la cercanía del pozo Liria YW-12.
- Comparación de los fluidos de perforación de ambos equipos para determinar si sus propiedades son similares, para que estas no afecten el desempeño de las zarandas.
- Realización de pruebas de desempeño en campo de las zarandas, dichas pruebas descritas más adelante en este capítulo.
- Tabulación de los datos obtenidos en las pruebas de desempeño para realización de gráficos comparativos.
- Elaboración de un análisis comparativo entre los gráficos para determinar que zaranda presenta un mejor rendimiento en campo.

Las últimas dos etapas de la metodología serán tratadas en el capítulo de Resultados y análisis, estas solo son mencionadas acá para mostrar la estructura del trabajo. A continuación, se presentará un diagrama de flujo en donde se muestran las etapas mencionadas anteriormente.

Figura 14. Diagrama de flujo.



Fuente: elaboración propia.

## 2.1 DATOS TÉCNICOS DE LAS ZARANDAS

En esta etapa del trabajo se mostrarán las especificaciones técnicas de ambas zarandas y las mallas con las cuales trabajaron durante la perforación.

**2.1.1 Propiedades de las Zarandas de perforación.** A continuación, se mostrará una tabla con los datos técnicos de los equipos de estudio. Por efectos legales no se menciona el nombre de la zaranda usada en el pozo Liria YW-12 ni la usada en el pozo offset.

**Tabla 2.** Especificaciones técnicas de las zarandas de perforación.

Equipo	Zaranda Modular doble deck Pozo Liria YW-12	Zaranda convencional pozo offset
Área de malla total	84,4ft <sup>2</sup>	29,4ft <sup>2</sup>
Área de malla (API)	52,8ft <sup>2</sup>	21,2ft <sup>2</sup>
Angulo de ajustamiento	-2° a +1°	+2° a +8°
Fuerza G de la vibración	7 G	6,5 G
Largo	123,8 in	119,8 in
Ancho	75,9 in	68,9 in
Altura	61,5 in	29 in
Peso	6406 lb	3300 lb

**Fuente:** compañías de control de solidos primarios en el pozo Offset y pozo Liria YW-12.

**2.1.2 Mallas usadas en la perforación.** A continuación, se presentarán las mallas que fueron adquiridas por las compañías para la totalidad de la perforación de ambos pozos.

### 2.1.2.1 Mallas para la zaranda modular doble deck.

**Tabla 3.** Mallas zarandas modular doble deck.

Parte #	DESCRIPCION	API	Tipo	D100(micrones)	Total
1	SCREEN API 170	170	Plana	95,1	22
2	SCREEN API 140	140	Plana	110,3	35
3	SCREEN SABRE API 120	120	Plana	133,7	20
4	SCREEN API 080	80	Plana	176	8
5	SCREEN MG API 035	35	Plana	543,4	24
6	SCREEN MG API 018	18	Plana	1077,1	7

**Fuente:** compañía encargada del control de sólidos primario en el pozo Liria YW-12.

### 2.1.2.2 Mallas para la zaranda convencional.

Tabla 4. Mallas zaranda convencional.

Parte #	DESCRIPCION	API	Tipo	D100(micrones)	Total
1	SCREEN CONVENCIONAL API 200	200	plana	74	5
2	SCREEN CONVENCIONAL API 170	170	plana	88	8
3	SCREEN CONVENCIONAL API 140	140	plana	105	37
4	SCREEN CONVENCIONAL API 120	120	plana	125	16
5	SCREEN CONVENCIONAL API 170	170	piramidal	88	14
6	SCREEN CONVENCIONAL API 140	140	piramidal	105	32
7	SCREEN CONVENCIONAL API 120	120	piramidal	125	5

Fuente: compañía Operadora del pozo Offset.

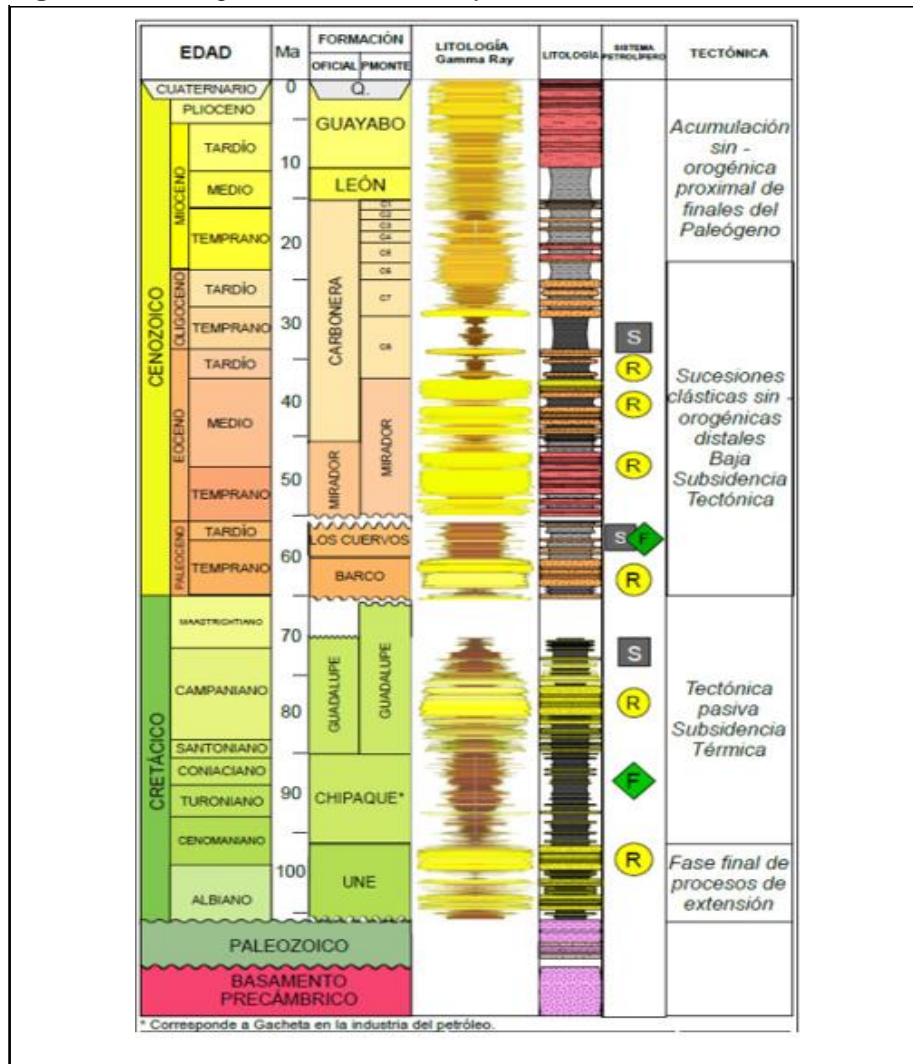
Como se puede observar en la tabla 3 y 4, las mallas usadas en el pozo Liria YW-12 son mallas de tipo planas, en cambio en el pozo Offset son de tipo planas y piramidal, factor que puede afectar al rendimiento positivamente de la zaranda en diferentes pruebas. Esto quiere decir que en el caso de que la zaranda modular doble deck muestre mejores resultados en las pruebas a realizar, representaría una mejora significativa a nivel de rendimiento debido al desempeño superior de las mallas piramidales en comparación al de las planas.

## 2.2 CONDICIONES DE TRABAJO DE LAS ZARANDAS

Para poder corroborar que el estudio se realizará en dos pozos con condiciones de trabajo similares, se mostrará a continuación la columna estratigráfica de ambos pozos haciendo un énfasis en las secciones geológicas de estudio. Posterior a esto se presentarán los estados mecánicos tanto del pozo Liria YW-12 y del pozo Offset. También se presentará la fuerza "G" con la que trabajaron los equipos.

## 2.2.1 Columna estratigráfica Pozo LIRIA YW-12 y Pozo Offset.

Figura 15. Geología Pozo Liria YW-12 y Pozo Offset.



Fuente: ECOPEL S.A.

De la columna estratigráfica es importante describir las formaciones de estudio que serán perforadas en ambos pozos, en este caso se tuvieron en cuenta las formaciones Guayabo y León, debido a que la perforación del pozo Liria YW-12 no se ha completado al término de este trabajo de grado y solo ha abarcado estas dos formaciones. Teniendo en cuenta lo anterior, la litología de estas formaciones se describe de la siguiente manera.

**Formación Guayabo (Tgu):** Mioceno Superior. Compuesta principalmente por clastos gruesos de origen continental.

**Formación León (Tle):** Mioceno Medio. Constituida por una secuencia monótona de lutitas, con trazas de arcillolita, nódulos de siderita y carbón.

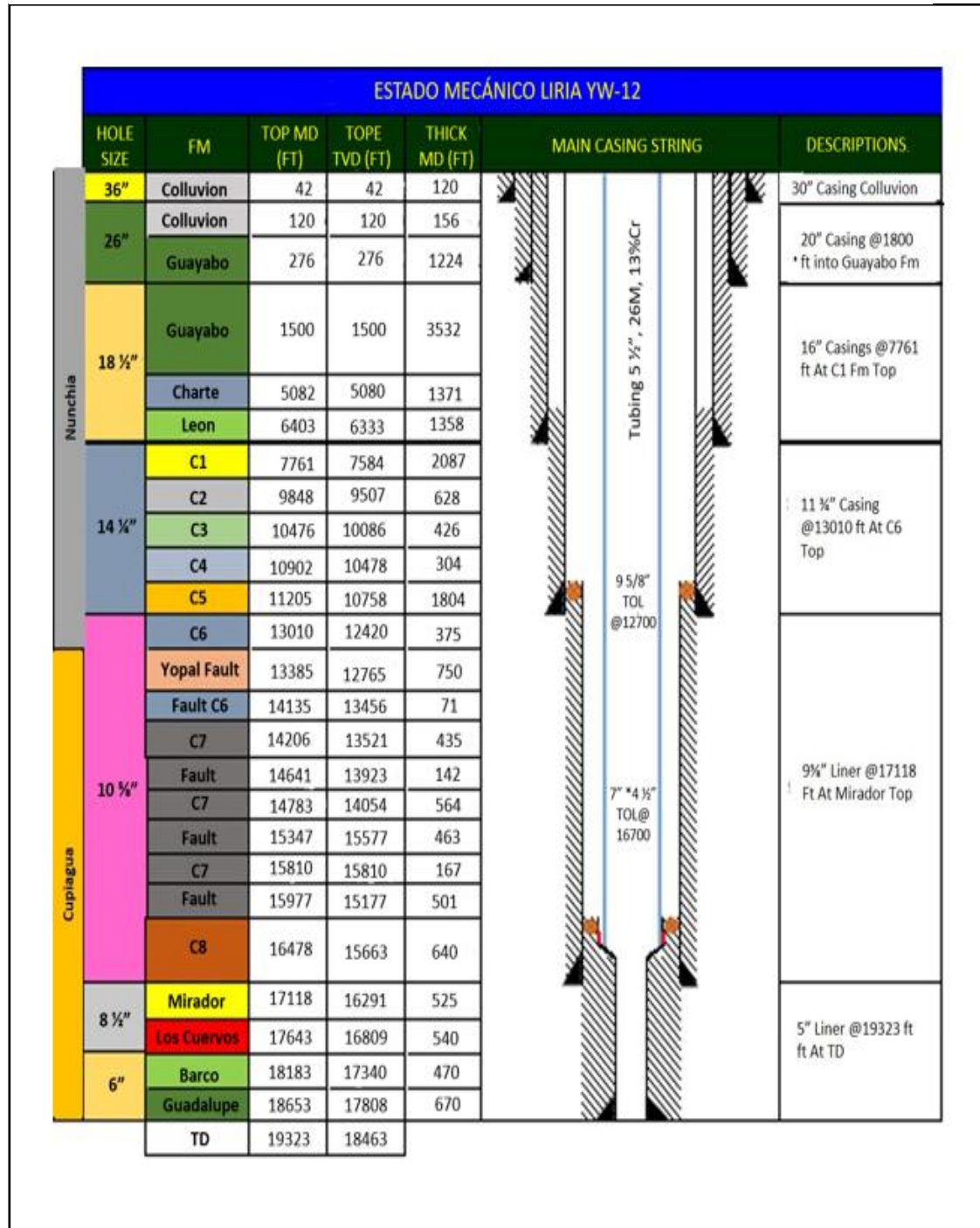
**2.2.2 Estados mecánicos.** Para el desarrollo de este trabajo de grado se evaluó el desempeño de cada zaranda en un pozo diferente, la zaranda modular doble deck fue evaluada en el pozo Liria YW-12 en el año 2020, a diferencia de la zaranda convencional que fue evaluada en el pozo Offset, es decir un pozo de referencia ubicado en la cercanía del pozo Liria YW-12 que previamente fue perforado en el año 2019 y fue utilizado en este estudio para realizar la comparativa entre los equipos.

A continuación, se mostrarán los estados mecánicos del pozo Liria YW-12 y el pozo Offset con el fin de demostrar que fueron perforados en la misma zona de estudio anteriormente mencionada en la columna estratigráfica. Por efectos legales no se mencionará el nombre del pozo Offset.

**2.2.2.1 Estado mecánico Liria YW-12.** En el estado mecánico mostrado a continuación se puede observar que las secciones de estudio son: la sección de 36", la sección de 26" y la sección de 18 ½", debido a que estas son las que atraviesan las formaciones de estudio mencionadas en la columna estratigráfica. Debido a que este es un estado mecánico desarrollado en la planeación del pozo puede que los valores finales de espesor de las secciones no correspondan con los mostrados. Teniendo en cuenta esto, el espesor para la sección 36" se planea que sea 120 ft, completado con un casing de 30", para la sección de 26" se planea un espesor de 1380 ft, completado con un casing de 20" y para la sección de 18 ½" se planea un espesor de 6261 ft, completado con un casing de 16".



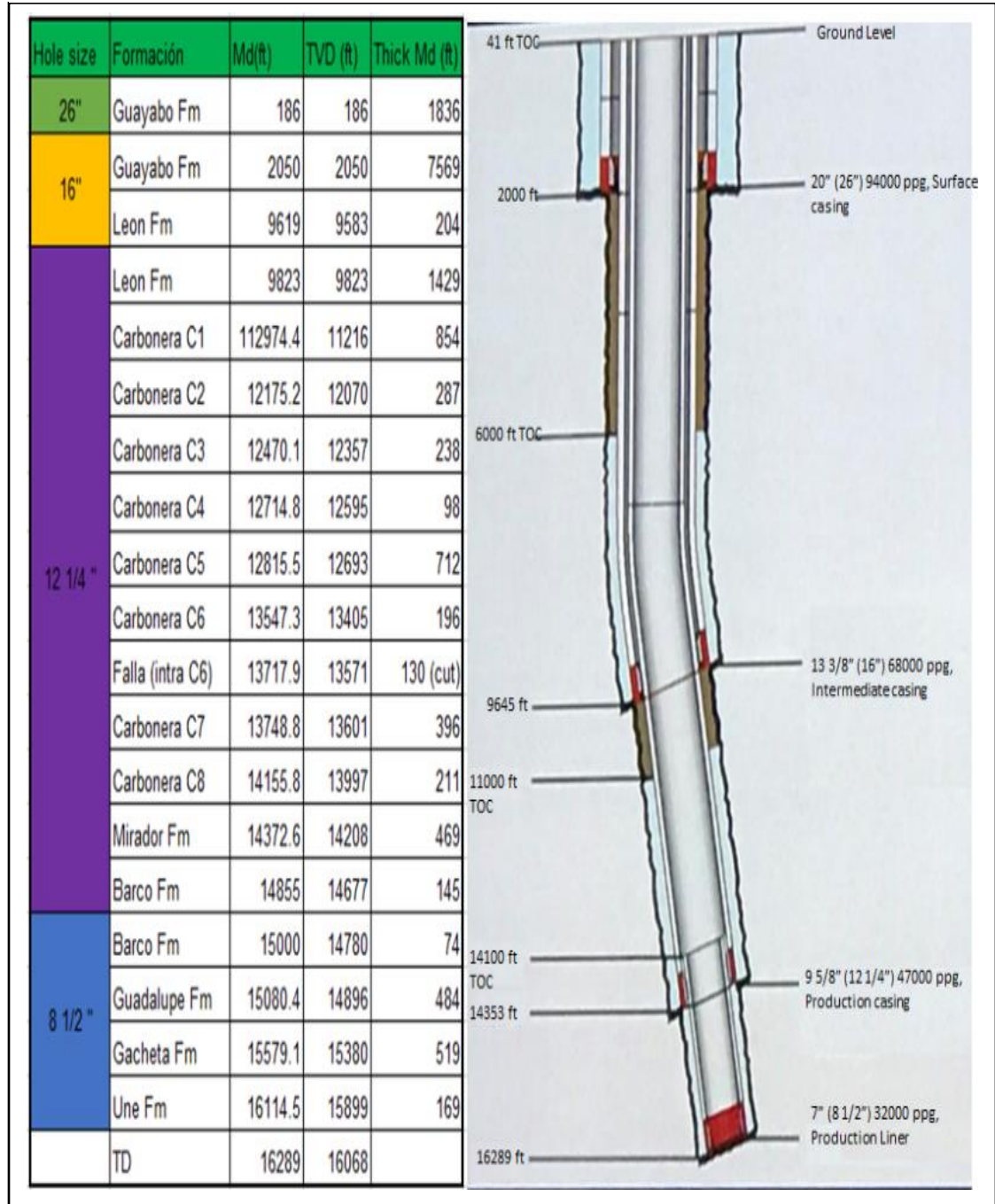
Figura 16. Estado mecánico Pozo Liria YW-12.



Fuente: ECOPETROL S.A.

**2.2.2.2 Estado mecánico Pozo Offset.** En el estado mecánico mostrado a continuación se puede observar que las secciones de estudio son: la sección de 26" y la sección de 16", debido a que estas son las que atraviesan las formaciones de estudio mencionadas en la columna estratigráfica. Al igual que en el pozo Liria YW-12 este estado mecánico fue desarrollado en la planeación del pozo y puede que los valores finales de espesor de las secciones no correspondan con los mostrados. Teniendo en cuenta esto, el espesor para la sección 26" se planea que sea 1836 ft, completado con un casing de 20" y para la sección de 16" se planea un espesor de 7773 ft, completado con un casing de 13 3/8".

Figura 17. Estado mecánico Pozo Offset.



Fuente: compañía operadora del pozo Offset.

**2.2.3 Fuerza G de trabajo de las zarandas.** La zaranda modular doble deck trabajó con 5.9 G y la zaranda convencional trabajó con 6.5 G.

## 2.3 FLUIDOS DE PERFORACIÓN

Es importante que los fluidos de perforación usados en la perforación de ambos pozos sean similares para que no sean un factor que afecten el rendimiento de las zarandas en las pruebas de campo.

**2.3.1 Pruebas del fluido de perforación.** Para determinar las propiedades de los fluidos de perforación se hicieron las siguientes pruebas (los procedimientos de dichas pruebas se encuentran en el Anexo B):

**2.3.1.1 Densidad.** La densidad de los fluidos de perforación se determinó por medio de una balanza de lodo<sup>28</sup>.

**2.3.1.2 Viscosidad plástica.** la prueba se realizó con un viscosímetro rotativo de 6 velocidades.

Mediante la siguiente ecuación se obtiene la viscosidad plástica ( $P_v$ )<sup>29</sup>:

**Ecuación 1.** Cálculo viscosidad plástica.

$$P_v(cP) = R600 - R300$$

**Fuente:** FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA. “Manual de prácticas fluidos de perforación”. 2018.

**2.3.1.3 Punto cedente.** Se realizó la prueba con un viscosímetro rotativo de 6 velocidades.

Mediante la siguiente ecuación se obtiene el punto cedente ( $Y_p$ )<sup>30</sup>:

**Ecuación 2.** Cálculo punto cedente.

$$Y_p \left( \frac{lb}{100ft^2} \right) = R300 - P_v$$

**Fuente:** FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA. “Manual de prácticas fluidos de perforación”. 2018.

**2.3.1.4 Viscosidad funnel.** Se mide con un embudo de un cuarto de galón y un cronómetro.

**2.3.2 Descripción del lodo de perforación.** ya habiendo explicado cómo se obtienen las propiedades del fluido de perforación, a continuación, en las siguientes tablas se muestran los comportamientos de estos en sus respectivos pozos. Debido a que estos datos se miden diariamente en campo y presentan variaciones los resultados se muestran en intervalos.

### 2.3.2.1 Propiedades Fluido de perforación Pozo Liria YW-12.

**Tabla 5.** Propiedades fluido de perforación Pozo Liria YW-12.

Propiedades		36/26"	18 1/2"		14 3/4"	10 5/8"	8 1/2"
		GEL BENEX	CLAY-TROL(WBM)	PER-FLEX (WBM)	CARBO DRILL (OBM)	CARBO DRILL (OBM)	CHEK-FLOW (OBM)
INTERVALO	pies	0-1800	1800-6380	6380-7800	7800-12900	12900-17010	17010-19220
DENSIDAD	lpg	8,9-9,2	8,5-9,5	9,5-10	10-11,5	14,1	10
VISCOSIDAD PLÁSTICA	cP	<25	<25	<25	<40	<45	<30
PUNTO CEDENTE	lbf/100ft <sup>2</sup>	14-30	14-16	20-25	20-35	20-35	15-30

Fuente: empresa de fluidos del pozo Liria YW-12.

### 2.3.2.2 Propiedades Fluido de perforación Pozo Offset.

**Tabla 6.** Propiedades fluido de perforación Pozo Offset.

Propiedades		26"	16"	12 1/4"	8 1/2"
		GEL BENEX	Terraform (WBM)	Drill-M (WBM)	Drill-M (WBM)
INTERVALO	pies	0-2023	2023-9823	9823-15000	15000-17040
DENSIDAD	lpg	8,9-9,2	8,8-9,2	10,8-12,5	9
VISCOSIDAD PLÁSTICA	cP	<25	<25	<30	<30
PUNTO CEDENTE	lbf/100ft <sup>2</sup>	35-45	25-28	25-33	25-26

Fuente: empresa de fluidos del pozo Offset.

Como se puede observar en la tabla 5 y la tabla 6, los fluidos usados en las secciones de estudio son base agua e incluso en la primera sección de ambos pozos se usó el mismo fluido (Gel Benex).

## 2.4 PRUEBAS DE DESEMPEÑO EN CAMPO

Estas pruebas serán realizadas en las zarandas, en el fluido de retorno y en los recortes obtenidos durante la perforación, para las pruebas de ROC, LGS y HGS se usó la retorta (procedimiento paso a paso en el Anexo B).

Se determinará la viabilidad de la zaranda modular doble deck sí presenta mejor desempeño en la mayoría de las pruebas de campo en comparación con la zaranda convencional.

**2.4.1 Retención de fluido en los recortes (ROC).** consiste en el cálculo del porcentaje de agua, petróleo y sólidos presentes en la muestra analizada en la retorta, las ecuaciones que se usaran para estos cálculos son las siguientes<sup>31</sup>:

**2.4.1.1 Porcentaje aceite.**

**Ecuación 3.** Cálculo volumen de aceite.

$$V_o(\%) = \frac{100 * \text{volumen aceite obtenido (ml)}}{\text{volumen total de la muestra (ml)}}$$

**Fuente:** OFITE." Manual de procedimientos retorta".2017.

Donde:

- $V_o$  = Porcentaje de volumen de aceite obtenido.

**2.4.1.2 Porcentaje agua.**

**Ecuación 4.** Cálculo volumen de agua.

$$V_w(\%) = \frac{100 * \text{volumen agua obtenido (ml)}}{\text{volumen total de la muestra (ml)}}$$

**Fuente:** OFITE. "Manual de procedimientos retorta". 2017.

Donde:

- $V_w$  = Porcentaje de volumen de agua obtenido.

**2.4.1.3 Porcentaje sólidos.**

**Ecuación 5.** Cálculo volúmenes sólidos.

$$V_s(\%) = 100 - (V_o + V_w)$$

**Fuente:** OFITE. "Manual de procedimientos retorta". 2017.

Donde:

- $V_s$  = Porcentaje de volumen de sólidos obtenido.
- $V_o$  = Porcentaje de volumen de aceite obtenido en la ecuación 3.
- $V_w$  = Porcentaje de volumen de agua obtenido en la ecuación 4.

#### 2.4.1.4 Porcentaje solidos suspendidos.

**Ecuación 6.** Cálculo volumen de sólidos suspendidos.

$$V_{ss} (\%) = V_s - V_w \frac{\text{concentracion de cloruros } \left(\frac{mg}{L}\right)}{1680000 - 1.21(Cs)}$$

**Fuente:** OFITE. "Manual de procedimientos retorta". 2017.

Donde:

- $V_{ss}$  = Porcentaje de volumen de sólidos suspendidos obtenido.
- $V_s$  = Porcentaje de volumen de sólidos obtenido en la ecuación 5.
- $V_w$  = Porcentaje de volumen de agua obtenido en la ecuación 4.
- $C_s$  = Concentración de cloruros (mg/L).

**2.4.2 LGS y HGS.** Consiste en calcular el porcentaje de solidos de baja y alta gravedad presentes en el fluido de perforación, las ecuaciones que se usan son las siguientes<sup>32</sup>:

#### 2.4.2.1 Porcentaje solidos de baja gravedad.

**Ecuación 7.** Cálculo del volumen sólidos de baja gravedad.

$$V_{lg} = \frac{1}{P_b - P_{lg}} (100P_f + (P_b - P_f)V_{ss} - 12W_m - (P_f - P_o)V_o)$$

**Fuente:** OFITE. "Manual de procedimientos retorta". 2017.

Donde:

- $V_{lg}$  = Porcentaje de volumen de sólidos de baja gravedad obtenido.
- $P_b$  = Densidad material densificante ( $g/cm^3$ ).
- $P_{lg}$  = Densidad solidos de baja gravedad ( $g/cm^3$ ).
- $P_f$  = Densidad del filtrado ( $g/cm^3$ ).
- $V_{ss}$  = Porcentaje de volumen de sólidos suspendidos obtenido en la ecuación 6.

- $W_m$  = densidad del lodo de perforación (lb/gal).
- $V_o$  = Porcentaje de volumen de aceite obtenido en la ecuación 3.

Para calcular la concentración de sólidos de baja gravedad (libras por barril), se usa la siguiente ecuación:

**Ecuación 8.** Cálculo concentración de sólidos de baja gravedad.

$$Clg = 3.49 * (Plg) * (Vlg)$$

**Fuente:** OFITE. "Manual de procedimientos retorta". 2017.

Donde:

- $Clg$  = Concentración de sólidos de baja gravedad (lb/gal) obtenido.
- $Vlg$  = Porcentaje de volumen de sólidos de baja gravedad obtenido en la ecuación 7.
- $Plg$  = Densidad sólidos de baja gravedad ( $g/cm^3$ ).

#### 2.4.2.1 Porcentaje sólidos de alta gravedad.

**Ecuación 9.** Cálculo volumen de sólidos de alta gravedad.

$$Vhg = Vss - Vlg$$

**Fuente:** OFITE. "Manual de procedimientos retorta". 2017.

Donde:

- $Vhg$  = porcentaje de volumen de sólidos de alta gravedad obtenido.
- $Vss$  = Porcentaje de volumen de sólidos suspendidos obtenido en la ecuación 6.
- $Vlg$  = Porcentaje de volumen de sólidos de baja gravedad obtenido en la ecuación 7.

**2.4.3 Screen life.** Se enumeran la cantidad de mallas utilizadas en la totalidad de la perforación y se dividen en el intervalo de tiempo que duro esta, también se realiza el cálculo dividiendo el número de mallas sobre la profundidad perforada (MD) en total, estos resultados obtienen la durabilidad de la malla.

**2.4.4 Costo de mallas.** Consiste en recopilar la cantidad de mallas utilizadas en la perforación y su valor monetario, para así obtener un costo total de estas.



**2.4.5 Capacidad de procesamiento.** Se mide el caudal proporcionado por las bombas de lodo medido con él cuenta strokes de la bomba y se toma el valor máximo por sección, dando el resultado en galones por minuto.

---

<sup>28-30</sup> FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA. “Manual de prácticas fluidos de perforación”. 2018

<sup>31,32</sup> OFITE. “Manual de procedimientos retorta”. Disponible en: [http://www.ofite.com/doc/165-14\\_instructions.pdf](http://www.ofite.com/doc/165-14_instructions.pdf). 2017.

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

A continuación, se mostrarán los resultados obtenidos de la zaranda modular doble deck obtenidos en la perforación del Pozo Liria YW-12 en sus primeras dos secciones (A1 y B1) y los resultados de la zaranda convencional usada en el Pozo offset en sus primeras dos secciones (A2 y B2), en ambos pozos usando fluido de perforación base agua. La comparación que se realizará entre las secciones de perforación será de acuerdo con la profundidad de cada una. Se realizó un promedio de los resultados por sección en el pozo Liria YW-12 usando los datos del anexo A, esto debido a que la información que fue suministrada del pozo offset se encontraba en promedios.

Este capítulo se dividirá en seis secciones, las cuales son:

- Propiedades promedio de los fluidos de perforación durante la perforación de los pozos.
- Capacidad de procesamiento.
- Porcentaje de sólidos de alta y baja gravedad (LGS y HGS).
- Retención de fluido en los recortes (ROC).
- Costos de mallas
- Screen life.

Finalizados ya los análisis, se realizará una tabla resumen de los resultados de cada sección con el fin de determinar cuál zaranda es más viable para implementar en futuros pozos en el campo Liria.

#### 3.1 PROPIEDADES DEL LODO DURANTE LA PERFORACIÓN

En esta sección se realizarán las tablas y gráficos que representan el comportamiento de los lodos base agua (lodo bentonítico secciones A1-A2 y lodos poliméricos secciones B1-B2) que se usaron durante la perforación del Pozo Liria YW-12 y el Pozo Offset, con el fin de poder verificar que los lodos usados tengan propiedades similares. Para efectos de este trabajo se tomarán en cuenta las propiedades como similares siempre y cuando su diferencia en valor no exceda el 16%, la razón por la cual se tomó este porcentaje es porque este equivale a la desviación estándar promedio de los datos del pozo Liria YW-12 (calculado con los valores del anexo A). A continuación, se muestra el comportamiento de los fluidos de perforación en valores promedio para cada una de las secciones del pozo Liria YW-12 y del pozo Offset.

**Tabla 7.** Propiedades promedio lodos pozo Liria YW-12.

Profundidad (ft)	Sección	Fluido de perforación	ROP (ft/hr)	Densidad Lodo (lb/gal)	PV (cp)	YP (lbf/100ft <sup>2</sup> )	FUNNEL (seg/qtgal)
115-1804	A1	Gel Benex	21,92	8,838	9,273	16,091	41,273
1804-6291	B1	Clay Trol	33,185	8,937	7,947	13,632	39,947
6512-6987	B1	Per Flex	24,88	9,75	11	20,5	42

Fuente: elaboración propia.

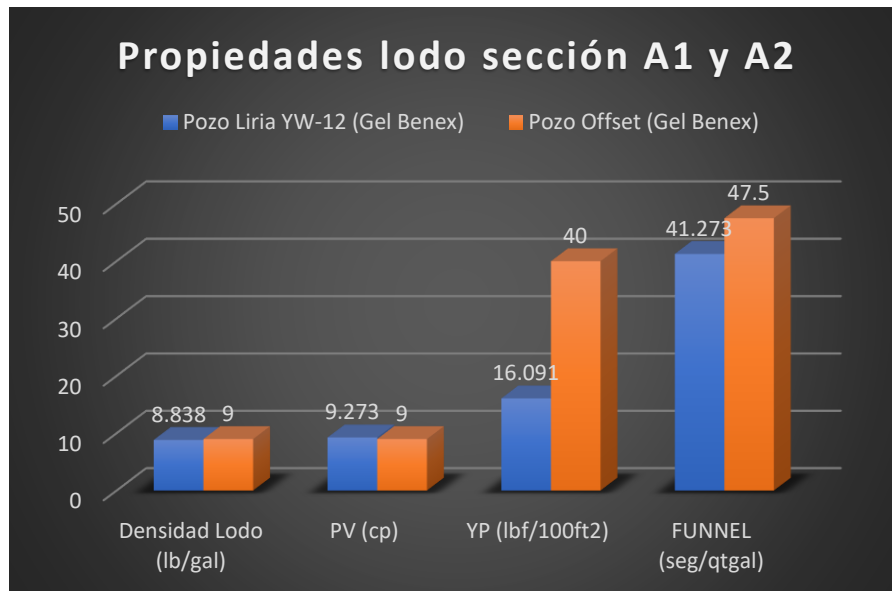
**Tabla 8.** Propiedades promedio lodos pozo Liria YW-12.

Profundidad (ft)	Sección	Fluido de perforación	ROP (ft/hr)	Densidad Lodo (lb/gal)	PV (cp)	YP (lbf/100ft <sup>2</sup> )	FUNNEL (seg/qtgal)
100-2023	A2	Gel Benex	55	9	9	40	47,5
2023-9823	B2	Terraform	83	9,5	9,5	26,5	47

Fuente: elaboración propia.

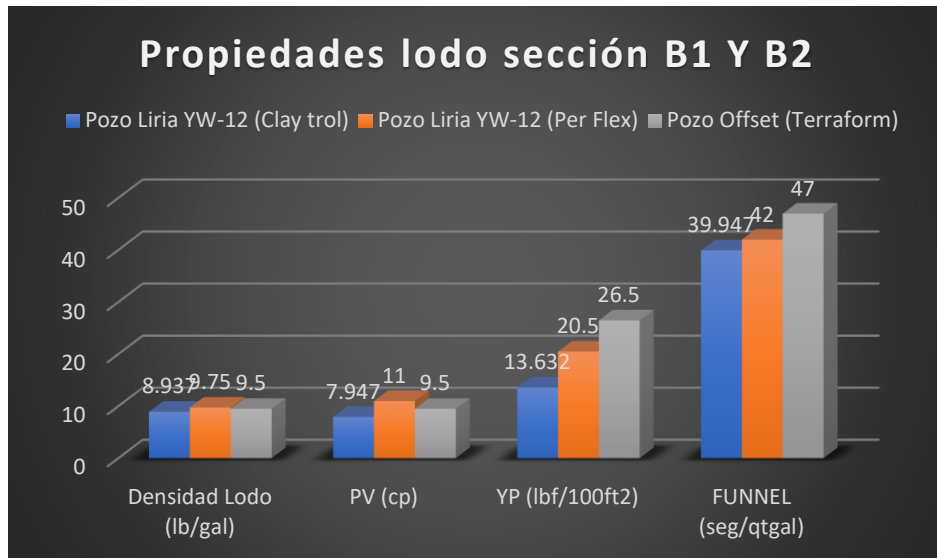
Con estos datos se realizaron dos gráficos comparativos, siendo el primero una comparación entre las secciones A1-A2 y el segundo entre B1-B2.

**Gráfica 1.** Propiedades del lodo sección A1 vs A2.



Fuente: elaboración propia.

**Grafica 2.** Propiedades del lodo sección B1 vs B2.



**Fuente:** elaboración propia.

Como se evidencia en las Gráficas 1 y 2, los lodos utilizados durante la perforación presentan similitud en sus propiedades como se lista a continuación; en la densidad la diferencia en la primera sección es de 1.8%, en la segunda 6% cuando se usó lodo Clay trol y 3% cuando se usó lodo Per Flex; la diferencia de la viscosidad plástica en la primera sección fue de 3%, en la segunda 16% con lodo Clay trol y 14% con lodo Per flex; la viscosidad funnel tuvo una diferencia de 14% en la primera sección, en la segunda 15% con lodo Clay trol y 11% con lodo Per flex. La propiedad que si tuvo una diferencia significativa fue el punto de cedencia, el cual en la sección A1 con respecto a la A2 fue un 60% de diferencia, en la sección B1 y B2 se tuvo una diferencia del 49% con el lodo Clay Trol y un 23% en el caso del lodo Per Flex; esta diferencia no debería afectar el rendimiento de las zarandas puesto que esto solo afecta a la hora de escoger la malla que será utilizada en la zaranda, “entre más bajo sea el punto cedente, más finas serán las mallas que se pueden usar en la zaranda”<sup>33</sup>.

### 3.2 CAPACIDAD DE PROCESAMIENTO

En esta sección se mostrarán los caudales máximos obtenidos en las secciones del pozo Liria YW-12 y el pozo Offset, los datos obtenidos de este valor fueron los siguientes.

**Tabla 9.** Capacidad de procesamiento pozo Liria YW-12.

Profundidad (ft)	Sección	Caudal máximo (gal/min)	ROP (ft/hr)
115-1804	A1	1000	21,92
1804-6291	B1	1051	33,185
6512-6987	B1	1051	24,88

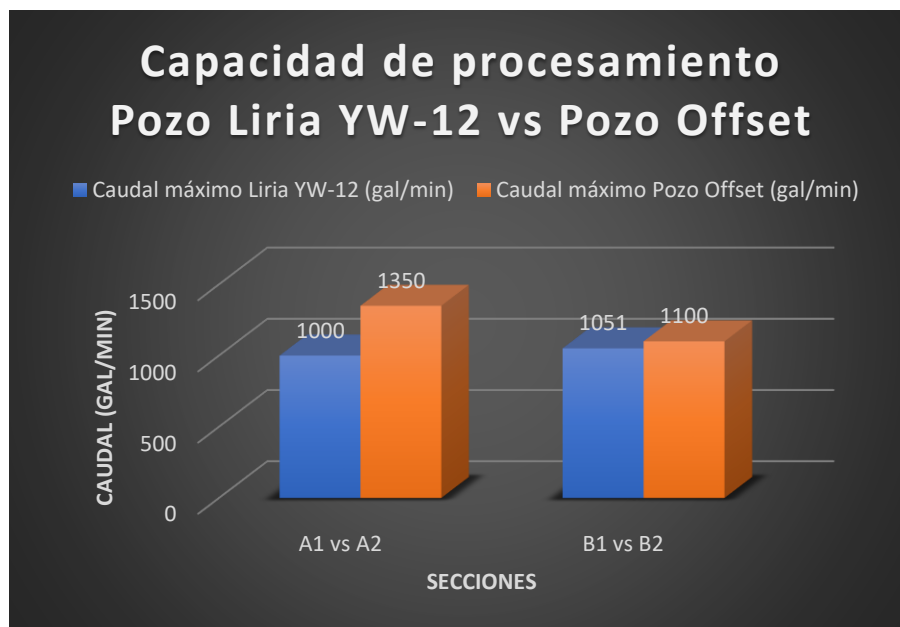
Fuente: elaboración propia.

**Tabla 10.** Capacidad de procesamiento pozo Offset.

Profundidad (ft)	Sección	Caudal máximo (gal/min)	ROP (ft/hr)
100-2023	A2	1350	55
2023-9823	B2	1100	83

Fuente: elaboración propia.

**Gráfica 3.** Caudal máximo Pozo Liria vs Pozo Offset.



Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar en la Gráfica 3, el caudal en las secciones B1 y B2 tiene mayor similitud en comparación con las secciones A1 y A2, esto nos permite suponer que los resultados que se obtengan de esta sección serán más representativos con respecto al rendimiento de la zaranda, la diferencia en caudales entre las secciones A1-A2 y B1-B2 es posible que no se deba al rendimiento de las zarandas sino a las condiciones de perforación de sus respectivos pozos, que

incluyen: “ROP, hidráulica del pozo, peso sobre la broca, velocidad de rotación, desgaste de la broca, litología y presión de circulación en el fondo del pozo”<sup>34</sup>.

### 3.3 %LGS Y %HGS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del porcentaje de sólidos de baja y alta gravedad en las secciones del Pozo Liria YW-12 y el Pozo Offset, esta sección se dividirá en dos partes, en la primera se analizará el comportamiento de los LGS y en la segunda de los HGS.

**3.3.1 %LGS.** El siguiente gráfico comparativo muestra la diferencia obtenida con respecto al porcentaje de sólidos de baja gravedad entre la zaranda Modular doble deck y la zaranda convencional en sus respectivas secciones.

**Tabla 11.** %LGS zaranda modular doble deck.

Profundidad (ft)	Sección	LGS %	ROP (ft/hr)
115-1804	A1	3,525	21,92
1804-6291	B1	3,117	33,185
6512-6987	B1	3,205	24,88

**Fuente:** elaboración propia.

**Tabla 12.** %LGS zaranda convencional.

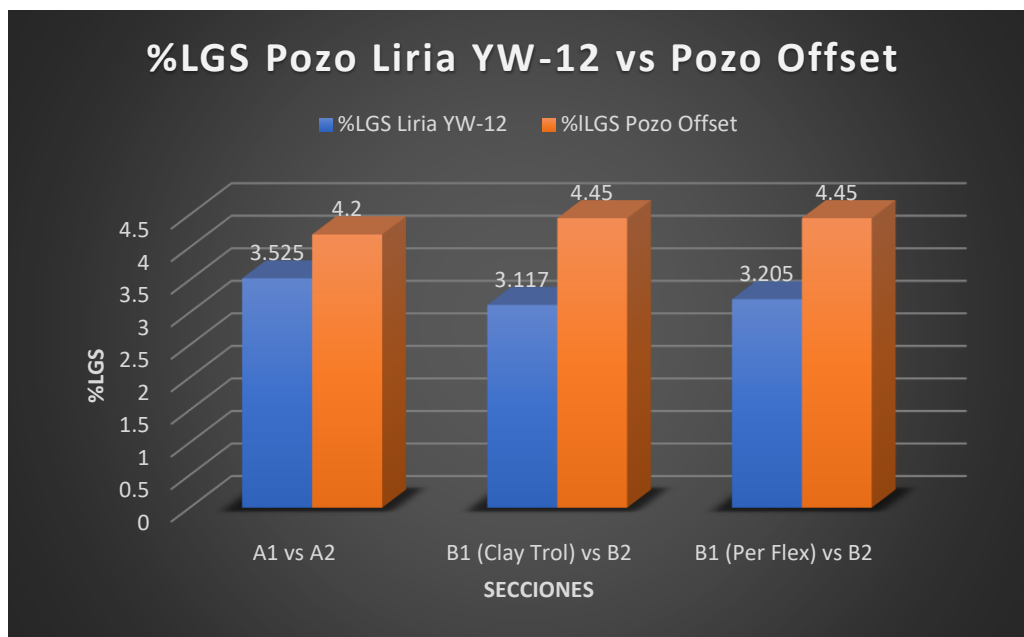
Profundidad (ft)	Sección	LGS %	ROP (ft/hr)
100-2023	A2	4,2	55
2023-9823	B2	4,45	83

**Fuente:** elaboración propia.

---

<sup>34</sup>MENSA-WILMOT, G., LANGDON, S. P., & HARJADI, Society of Petroleum Engineers. “Drilling Efficiency and Rate of Penetration: Definitions, Influencing Factors, Relationships, and Value.”. 2010.

**Grafica 4.** Porcentaje solidos de baja gravedad Liria vs Offset.



**Fuente.** elaboración propia.

Los resultados mostrados en la Gráfica 4 indican que la zaranda modular doble deck obtuvo un mejor rendimiento en el porcentaje de solidos de baja gravedad obtenidos con respecto a la zaranda convencional siendo este un 17% más bajo en la sección A1 con respecto a la A2. Ya en las secciones B1 y B2 donde el caudal máximo fue similar, se obtuvo una mejora del 30% cuando se usó lodo Clay trol y un 28% con el lodo Per Flex.

Esta mejoría se debe principalmente a que la zaranda modular doble deck cuenta con dos decks de mallas, uno superior de tipo scalper el cual se usa para los cortes gruesos y el inferior llamado primary donde pasan los cortes más finos, al tener esta zaranda la posibilidad de usar diferentes tipos de malla al mismo tiempo, se genera una mejora en el filtrado de solidos de baja gravedad con respecto a las zarandas convencionales, además de poseer una mayor área de mallas siendo esta un 59.9% mayor que la zaranda convencional, permitiendo así una mayor área de contacto con el lodo de perforación. En el caso de la zaranda convencional del Pozo Offset solo se usó un tipo de malla por sección, siendo para la sección A2 un API 120 y para B2 un API 140, lo cual limita la capacidad de filtrado de sólidos de baja gravedad que tiene este equipo, para la zaranda modular doble deck se usaron en ambas secciones los seis tipos de mallas con referencias API 170, 140, 120, 80, MG 035 y MG 018.

La importancia de tener el porcentaje de LGS bajo radica en que estos al aumentar su concentración en el fluido de perforación disminuyen la densidad de este generando una caída de la presión hidrostática en el pozo, aumentando el riesgo de reventón de pozo.

**3.3.2 %HGS.** El siguiente grafico comparativo muestra la diferencia obtenida con respecto al porcentaje de solidos de alta gravedad entre la zaranda Modular doble deck y la zaranda convencional en sus secciones.

**Tabla 13.** %HGS zaranda modular doble deck.

Profundidad (ft)	Sección	HGS%	ROP (ft/hr)
115-1804	A1	0	21,92
1804-6291	B1	0,481	33,185
6512-6987	B1	3,75	24,88

**Fuente:** elaboración propia.

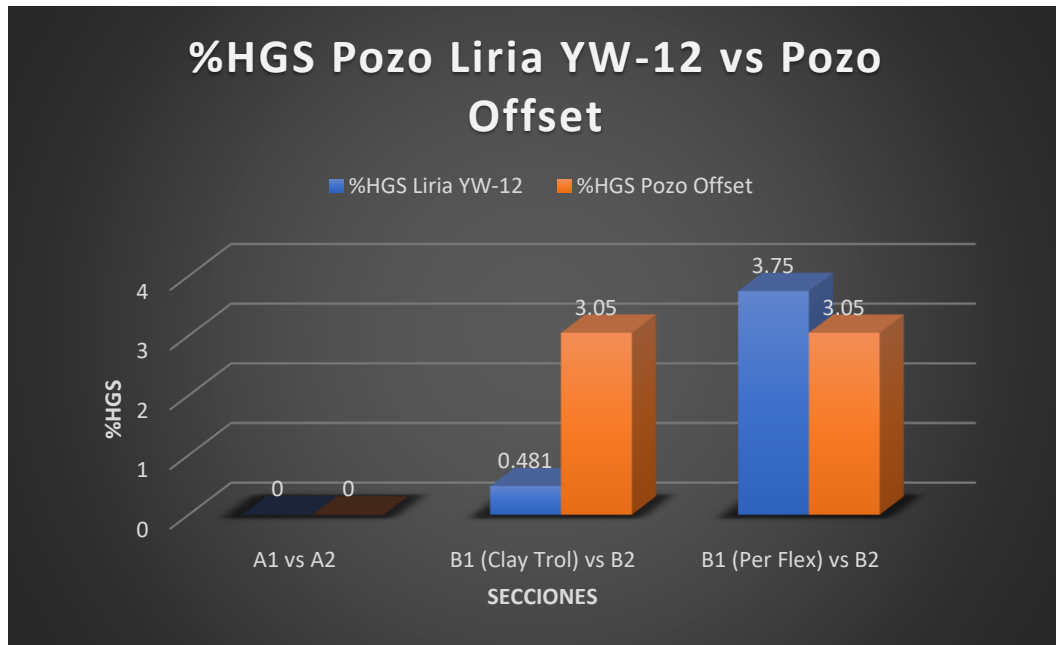
**Tabla 14.** %HGS zaranda convencional.

Profundidad (ft)	Sección	HGS%	ROP (ft/hr)
100-2023	A2	0	55
2023-9823	B2	3,05	83

**Fuente:** elaboración propia.



**Grafica 5.** Porcentaje solidos de alta gravedad Liria vs Offset.



**Fuente:** elaboración propia.

Los valores de sólidos de alta gravedad no son representativos al momento de comparar las zarandas debido a que estos son usados en la perforación para aumentar la densidad del lodo de perforación, lo que se puede observar de la Gráfica 5 es que en el Pozo Liria YW-12 hubo un gran aumento de este porcentaje, el cual pasó de ser 0,481% con el lodo Clay trol a un 3,75% con el lodo Per flex, este comportamiento se dio porque el lodo Per Flex requería un aumento de densidad de 0.82 ppg y era necesario la adición de sólidos de alta gravedad para obtener esa densidad deseada. En las secciones A1 y A2 no hay contenido de HGS debido a que el lodo usado (Benex) es un lodo básico compuesto por agua y bentonita. Al momento de realizar una comparación de zarandas es importante que el porcentaje de sólidos de alta gravedad se mantenga constante para asegurar que la densidad se mantenga estable y solo aumente cuando se necesite hacer un cambio en esta, este efecto se puede observar en el anexo A, donde hubo aumentos en el valor de la densidad en los valores finales, por lo que aumento la relación de HGS. A nivel financiero es importante que las zarandas recuperen la mayor cantidad de sólidos de alta gravedad y que estos no sean desperdiciados en los recortes debido a su costo.

### 3.4 RECORTES DE PERFORACIÓN (ROC)

Una de las variables más importantes al momento de determinar el desempeño de una zaranda con respecto a otra en la perforación es la capacidad que tiene esta de separar los recortes del lodo, dejando estos con la humedad más baja posible. Para poder realizar un estudio detallado es necesario realizar gráficos comparativos a profundidades similares donde se tengan en cuenta los volúmenes teóricos y los reales, es decir, los que se deberían tener contra los que se obtuvieron, el volumen total de recortes contra los volúmenes que tuvieron solo las zarandas, los porcentajes de humedad que poseen los recortes y por último una comparativa entre el fluido que fue filtrado junto a los recortes para poder realizar un cálculo de los costos de dilución.

**3.4.1 Volumen teórico contra volumen real.** Para poder calcular el volumen teórico de los pozos es necesario utilizar la siguiente ecuación.

**Ecuación 10.** Cálculo volumen teórico.

$$V(bbl) = \frac{Diametro(pulg)^2}{1029.4} * Espesor (pies)$$

**Fuente:** ECOPETROL S.A. "Manual de operaciones de perforación versión 1". 1994.

Debido a que la sección B2 tiene una mayor profundidad (7800 ft) con respecto a la sección B1 (5183 ft) fue necesario ajustar este dato con el fin de hacer una comparativa más objetiva.

Ya teniendo estos cálculos de volúmenes teóricos por sección, se procedió a tabular el volumen teórico y el volumen total obtenido durante la perforación, para así luego realizar a un gráfico en donde se muestra una comparación entre el volumen teórico y el volumen total obtenido para cada sección en ambos pozos.

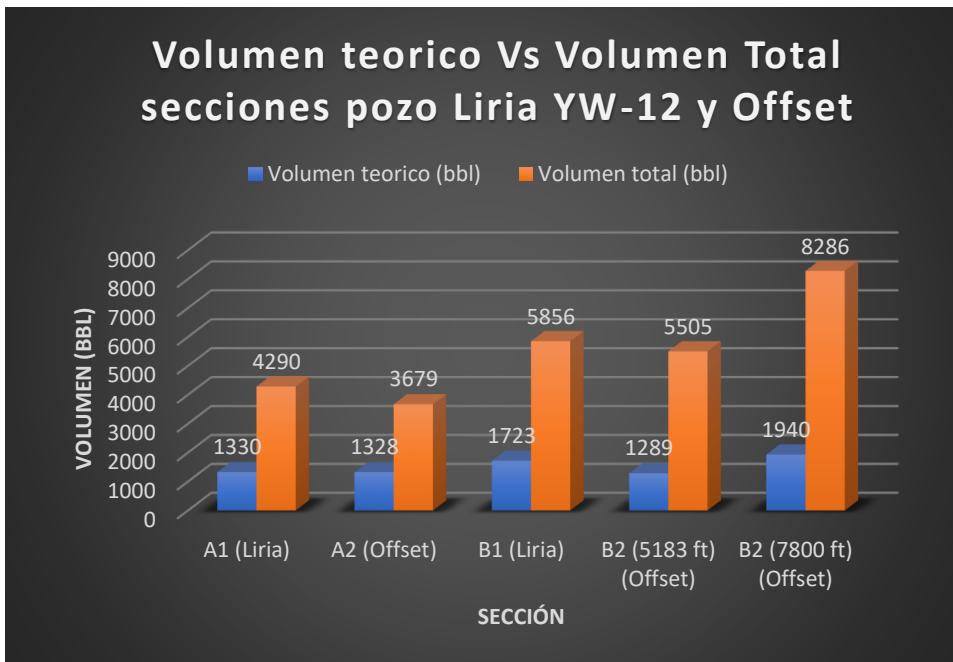
El motivo por la cual estos datos son calculados, tabulados y graficados, es el poder cuantificar la razón que tuvieron ambos pozos respecto a los cortes teóricos vs producidos, con el fin que este valor no afecte el resultado del rendimiento de las zarandas porque un volumen total de cortes mayor puede aparentar un mayor rendimiento en el equipo.

**Tabla 15.** Resultados volúmenes teóricos vs obtenidos.

Sección	Volumen teórico (bbl)	Volumen total (bbl)
A1	1330	4290
A2	1328	3679
B1	1723	5856
B2 (5183 ft)	1289	5505
B2	1940	8286

Fuente: elaboración propia.

**Grafica 6.** Volumen teórico vs reales pozos Liria YW-12 y Offset.



Fuente: elaboración propia.

El motivo por el cual el volumen de recortes obtenidos es mayor al teórico se debe a que ningún pozo es un cilindro perfecto, esto gracias a la presencia de cavings (cavernas) que se forman durante la perforación y provocan que los recortes obtenidos sean siempre mayores, también es importante mencionar que entre mayor sea la tasa de perforación, mayor va a ser el volumen de recortes producidos.

Finalmente, Para realizar el cálculo de la razón obtenida en las secciones perforadas se hizo la división entre los volúmenes (total/teórico), dando como resultados los siguientes datos:

**Tabla 16:** Razón secciones pozos Liria YW-12 y Offset.

<b>Sección</b>	<b>Razón</b>
A1 (Liria)	3,22
A2 (Offset)	2,76
B1 (Liria)	3,39
B2 (5183 ft) (Offset)	4,27
B2 (7800 ft) (Offset)	4,27

**Fuente:** elaboración propia.

Observando los resultados de las razones obtenidas en la Tabla 16, se espera que en la primera sección (A1) del pozo Liria YW-12 se obtenga un mayor volumen de recortes separados en las zarandas con respecto a la primera sección (A2) del pozo Offset, y con respecto a las segundas secciones (B1 y B2) de los pozos se espera que el pozo Offset tenga un mayor volumen de recortes en este equipo.

**3.4.2 Volumen de recortes zarandas vs. volumen total.** Para poder conocer la cantidad de recortes que fueron filtrados por la zaranda es necesario realizar la resta entre el volumen total de recortes (ver Tabla 15) y los producidos por las centrifugas y otros sistemas secundarios de control de sólidos, los datos de estos equipos para ambos pozos fueron los siguientes:

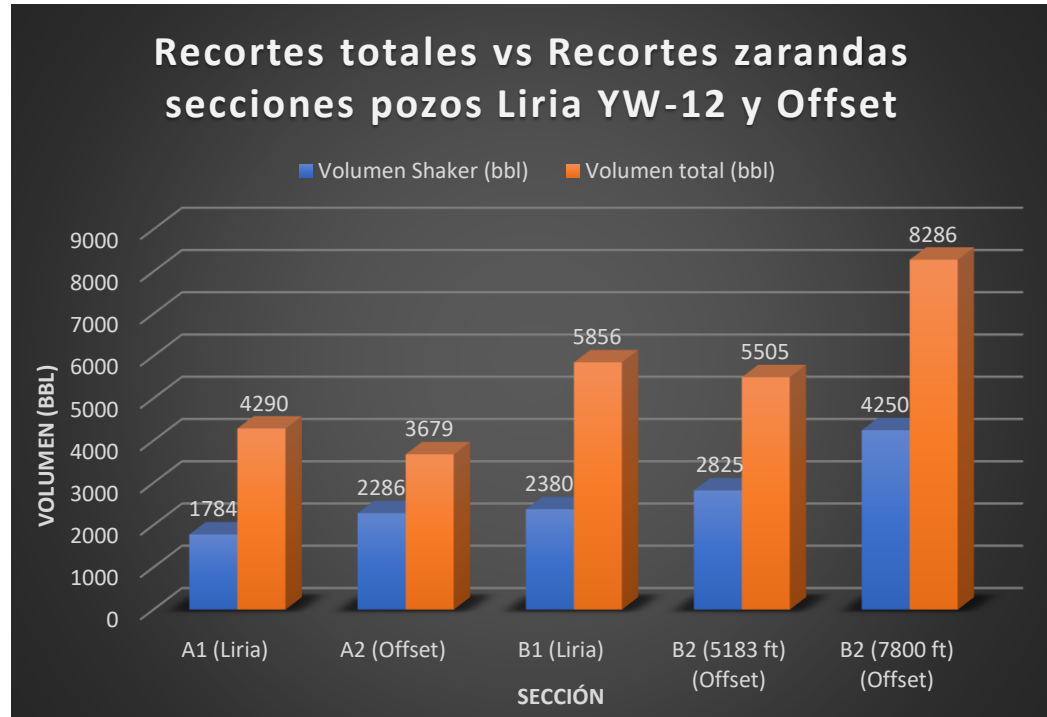
**Tabla 17.** Volumen total vs. zarandas.

<b>Sección</b>	<b>Volumen total (bbl)</b>	<b>Volumen Centrifugas y otros equipos (bbl)</b>	<b>Volumen Zarandas (bbl)</b>
A1 (Liria)	4290	2506	1784
A2 (Offset)	3679	1393	2286
B1 (Liria)	5856	3476	2380
B2 (5183 ft) (Offset)	5505	2680	2825
B2 (7800 ft) (Offset)	8286	4036	4250

**Fuente:** elaboración propia.

Ya teniendo una tabla comparativa entre el volumen de recortes que fue filtrado por la zaranda y el volumen total de recortes se procede a realizar una gráfica en donde se muestre cual fue la diferencia entre estos valores para cada sección en ambos pozos, dando como resultado lo siguiente:

**Grafica 7.** Volumen recortes totales vs. volumen de zarandas.



**Fuente:** elaboración propia.

Observando los resultados obtenidos en la Gráfica 7 y relacionándolos con la Tabla 16, se esperaba que en la primera sección de los pozos (A1 y A2) se tuviera un mayor volumen de recortes en la zaranda modular doble deck con respecto a la zaranda convencional, este resultado no se dio debido a que en el pozo offset se tenía una mayor tasa de perforación (ver valores ROP en las Tablas 13 y 14), lo cual causa naturalmente una mayor producción de sólidos de mayor tamaño, que son más fáciles de separar, otro aspecto a tener en cuenta es que la fuerza G usada en la zaranda modular doble deck no fue la máxima que permite el equipo, en estas primeras dos secciones del pozo Liria YW-12 se usaron 5,9 G para hacer una prueba más conservadora del equipo, mientras que en el pozo Offset la zaranda convencional trabajó a una fuerza G de 6,5. La relación entre la fuerza G y la remoción de sólidos es que “a mayor fuerza G mayor cantidad de sólidos removidos”<sup>35</sup>. Otro motivo por el cual se dio este resultado es que la zaranda convencional utilizó mallas de tipo piramidal, “que en la práctica tienen un mejor rendimiento con respecto a las mallas planas”<sup>36</sup> usadas por la zaranda modular doble deck, “esta ventaja se da al momento de separar los recortes por su mayor área de tamizado”<sup>37</sup>, dando un 22% de mayor volumen de recortes filtrados en esta sección.

Para la segunda sección se esperaba que la zaranda convencional tuviera una mayor cantidad de recortes con respecto a la modular doble deck debido a que como se aprecia en la tabla 16, se tiene una mayor razón entre volumen de recortes total y teórico y al igual que en la primera sección se utilizaron mallas de tipo piramidal, este resultado se confirmó, sin embargo, la diferencia no fue tan grande como se esperaba debido a que en el caso de la zaranda modular doble deck se usaron mallas de tipo planas y solo fue superada por un 16 % en volumen de recortes.

También hay que tener en cuenta la viscosidad plástica al momento de hacer este análisis, en la primera sección se tiene un valor mayor de esta propiedad para la zaranda modular doble deck (9,273cp) con respecto a la zaranda convencional (9cp) y como nos ilustra la American association of drilling engineers, “entre mayor sea el valor de la viscosidad plástica, peor será el rendimiento de la zaranda al momento de filtrar los recortes”<sup>38</sup>. Es por esta misma razón que en la segunda sección, la diferencia entre la zaranda Modular doble deck y la zaranda convencional fue menor al tener una viscosidad plástica más baja (7,94cp) durante la mayoría de la perforación en comparación a la zaranda convencional (9,5cp).

**3.4.3 Porcentaje de humedad en los recortes.** Después de obtener los recortes producidos por las zarandas, estos fueron sometidos a la prueba de retorta para poder medir su porcentaje de humedad, los resultados fueron los siguientes:

**Tabla 18.** Humedad recortes Liria YW-12.

<b>Recortes Liria YW-12</b>			
<b>Sección</b>	<b>Volumen (bbl)</b>	<b>%Humedad promedio</b>	<b>Espesor (ft)</b>
A1	1784	69,4	1919
B1	2380	59,4	5183

**Fuente:** elaboración propia.

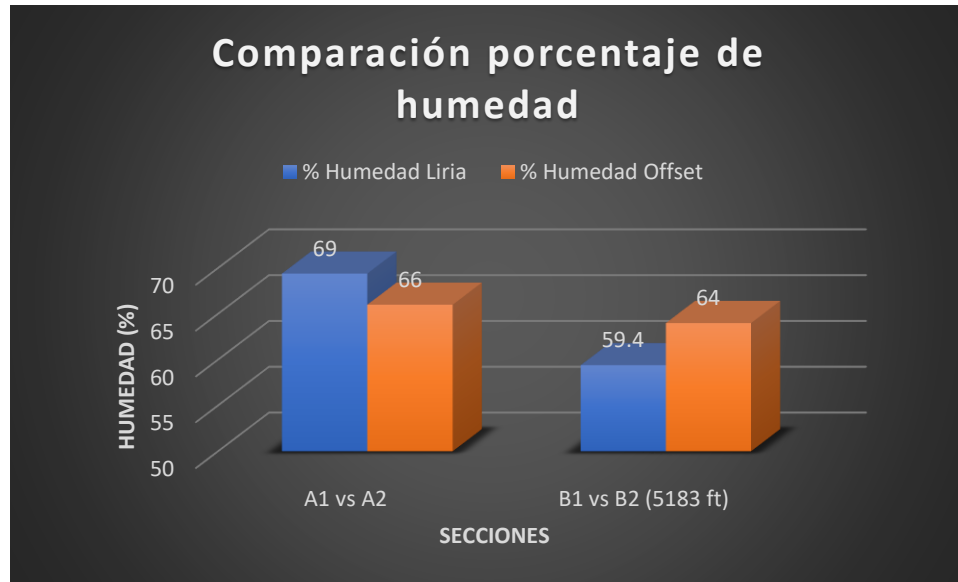
**Tabla 19.** Humedad recortes pozo Offset.

<b>Recortes Pozo Offset</b>			
<b>Sección</b>	<b>Volumen (bbl)</b>	<b>%Humedad promedio</b>	<b>Espesor (ft)</b>
A2	2286	66	2023
B2	2825	64	5183
B2	4250	64	7800

**Fuente:** elaboración propia.

En la siguiente grafica se muestra una comparación del porcentaje de humedad entre las secciones A1-A2 y B1-B2 (5183 ft):

**Grafica 8.** Humedad recortes pozos Liria y Offset.



**Fuente:** elaboración propia.

Con respecto al porcentaje de humedad que tienen los recortes, es decir la cantidad de fluido presente en estos, se puede analizar que en las primeras secciones de ambos pozos (A1 y A2) se tuvieron valores más altos de humedad con respecto a las segundas secciones (B1 y B2) debido al alto caudal de circulación que hubo durante la perforación (tablas 9 y 10) y a que las arcillolitas presentes en esta sección tendían a tapar las mallas con más facilidad causando que los recortes salieran más húmedos de las zarandas. Por este motivo los datos de humedad en estas secciones no son tan representativos del desempeño de las zarandas, teniendo en cuenta esto, se puede observar que los recortes filtrados por la zaranda Modular doble deck tienen un mayor porcentaje de humedad con respecto a la zaranda convencional, esto se da porque las mallas usadas en esta sección son más finas (API 140 y 120) con respecto a las usadas en la zaranda convencional (API 120) y como se encuentra en la literatura, existe la siguiente relación: “entre más fina sea la malla, mayor humedad presente en los recortes se va a obtener”<sup>39</sup>.

En la segunda sección de ambos pozos se usaron mallas más finas, para la zaranda modular doble deck, mallas API 170 y para la zaranda convencional, mallas API 140, en el caso de la zaranda convencional el porcentaje de humedad disminuyó en un

2% y en el caso de la zaranda modular doble deck disminuyo casi un 10%, a pesar de que se usaron mallas más finas, las cuales debían aumentar la humedad de los recortes, la humedad disminuyo debido a que las arcillolitas presentes en esas segundas secciones eran menos reactivas y tendían a hincharse menos que las de la sección anterior (A1 y A2). Con respecto a la zaranda modular doble deck hubo una mayor disminución gracias al mayor área de mallas que permite este equipo, el cual ayuda a que se sequen más los recortes al tener que recorrer una mayor longitud al pasar por la zaranda.

**3.4.4 Volumen de fluido perdido.** Teniendo ya los datos de porcentaje de humedad y volumen de recortes en las zarandas se puede conocer que tanto fluido se perdió con los recortes, este dato es importante debido a que el fluido perdido necesita ser sustituido en el sistema de circulación del taladro, generando costos en dilución. Para calcular el volumen de fluido perdido se multiplica el porcentaje de humedad con la cantidad de volumen de recortes de la zaranda recogidos en los catch tank, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

**Tabla 20.** Comparación volumen de fluido perdido zarandas.

Sección	Volumen zarandas (bbl)	Volumen de fluido perdido (bbl)
A1 (Liria)	1784	1294
A2 (Offset)	2286	1509
B1 (Liria)	2380	1414
B2 (5183 ft) (Offset)	2825	1808
B2 (7800 ft) (Offset)	4250	2720

**Fuente:** elaboración propia.

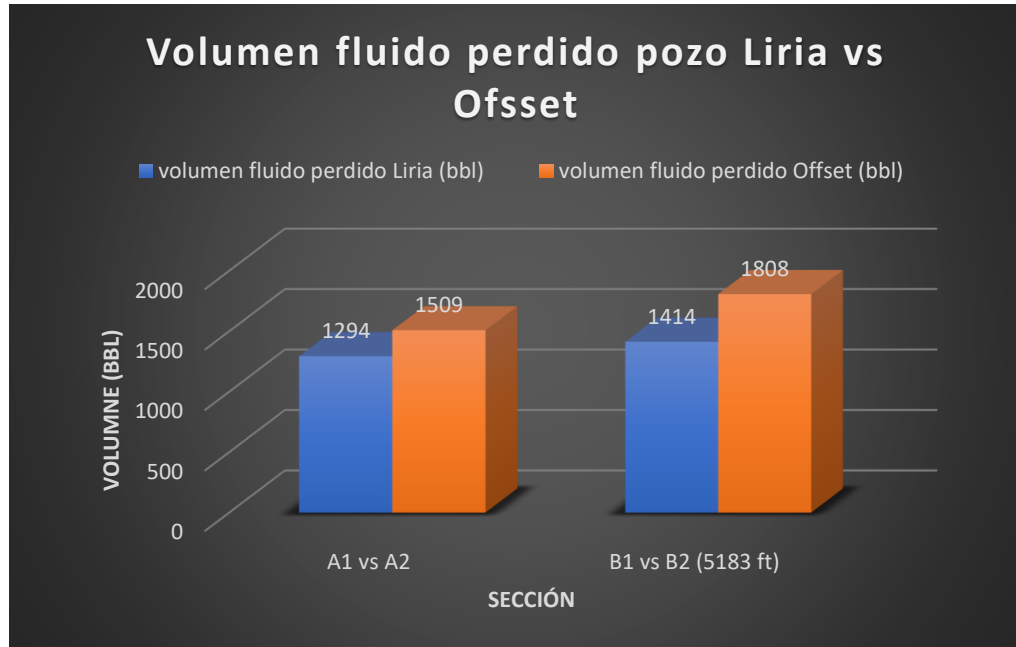
Ya teniendo el volumen de fluido que se perdió en cada sección de los pozos, se puede realizar un gráfico en donde se compara este volumen en las secciones de ambos pozos, el resultado fue el siguiente:

<sup>33,37,38,39</sup> AMERICAN ASSOCIATION OF DRILLING ENGINEERS. "Shale Shakers and Drilling Fluid Systems: Techniques and Technology for improving solids control management". 1999.

<sup>35,36</sup> BOTERO, Sebastian; TOVAR, Lizeth. "Evaluación técnico- financiera de la implementación de las mallas piramidales en el sistema de control de sólidos primario durante la perforación de un pozo en la sección 12 ¼" en el campo castilla". Trabajo de grado. Fundación Universidad de América. 2018.



**Grafica 9.** Comparación volumen de fluido perdido en los pozos.



**Fuente:** elaboración propia.

Se puede observar que el volumen de fluido perdido usando la zaranda modular doble deck fue menor en ambas secciones con respecto a la zaranda convencional, en la primer sección (A1 y A2) un 14% y en la segunda (B1 y B2) un 21.8%, esto nos indica que la zaranda modular doble deck en cuanto a volumen, desperdició menos fluido que la zaranda convencional debido principalmente a la disminución del porcentaje de humedad que logro, generando así menores costos de dilución como se muestra a continuación.

Sabiendo que el costo de dilución para el lodo de perforación con referencia Benex es de 15 USD por barril y para lodos de perforación tipo polimérico como lo son el Clay Trol, Per Flex y Terraform es de 80 USD (datos suministrados por la compañía de fluidos encargada de los pozos), se obtienen los siguientes costos de dilución para el pozo Liria YW-12 y para el pozo Offset, multiplicando estos por el volumen de fluido perdido en cada sección.

**Tabla 21.** Costos de dilución pozos Liria YW-12 y Offset.

Pozo	Costo dilución total (USD)
Liria YW-12	132.530
Offset	173.385

**Fuente:** elaboración propia.

Al obtener los costos de dilución total para ambos pozos se puede evidenciar que estos fueron menores en el pozo Liria YW-12 donde el porcentaje de costos en dilución con respecto a la zaranda convencional fue de un 23.6% menor, que en temas económicos representa una diferencia importante, demostrando así una ventaja de la zaranda Modular doble deck con respecto a la convencional.

### 3.5 COSTO DE MALLA

A continuación, se documentan las mallas usadas durante las secciones de perforación A1 y B1 del pozo Liria YW-12 y las usadas durante la perforación de la sección A2 y B2 del pozo offset junto con el costo asociado a cada una de ellas.

**Tabla 22.** Uso de mallas y costo en el pozo Liria YW-12.

#Mallas	API	Tiempo de uso (días)	Tipo de malla	Espesor perforado(ft)	costo unitario (\$USD)	costo total (\$USD)
16	170	9	Plana	5183	510	8160
16	140	7	Plana	1689	440	7040
16	120	7	Plana	1689	420	6720
16	MG 35	6	Plana	6872	380	6080
12	MG 18	19	Plana	6872	380	4560
<b>76</b>	<b>TOTAL</b>				<b>TOTAL</b>	<b>32560</b>

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 23.** Uso de mallas y costo en el pozo Offset.

#Mallas	API	Tiempo de uso (días)	Tipo de malla	Espesor perforado (ft)	costo unitario (\$USD)	costo total (\$USD)
32	140	51	Piramidal	12977	805	25440
37	140	51	Plana	12977	440	16280
16	120	7	Plana	1823	420	6720
5	120	7	Piramidal	1823	795	4025
<b>90</b>	<b>Total</b>				<b>TOTAL</b>	<b>52465</b>

Fuente: elaboración propia.

Cómo se puede observar en las Tablas 22 y 23, la cantidad de mallas usadas en el pozo offset es más alta que en el pozo Liria YW-12 (14 mallas más), haciendo que el costo total derivado de las mallas sea mayor también (un 60% mayor). Lo anterior es debido a que los datos que se tienen de las mallas usadas en el pozo offset son de una zona perforada de mucho mayor espesor, por esta razón se procedió, con el fin de hacer una comparación más real, a calcular y a realizar una tabla de costo de mallas por pie perforado donde se promediaron los valores de cada malla para tener un costo promedio de este valor en cada uno de los pozos. Ya con estos

resultados se procedió a calcular el costo total ajustado del pozo Liria YW-12 y el pozo Offset para los espesores de las dos primeras secciones de cada uno.

**Tabla 24.** Costo de mallas por pie Liria YW-12.

API	#Mallas	Espesor perforado(ft)	Costo total (\$USD)	Costo de mallas (\$USD/ ft)
170	16	5183	8160	1,57
140	16	1689	7040	4,17
120	16	1689	6720	3,98
MG 35	16	6872	6080	0,88
MG 18	12	6872	4560	0,66
<b>Total:</b>	<b>76</b>	<b>Total:</b>	<b>32560</b>	<b>Promedio: 2,254</b>

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 25.** Costo de mallas por pie Pozo Offset.

API	#Mallas	Espesor perforado (ft)	Costo total (\$USD)	Costo de mallas (\$USD/ft)
140	32	12977	25440	1,96
140	37	12977	16280	1,25
120	16	1823	6720	3,69
120	5	1823	4025	2,21
<b>Total:</b>	<b>90</b>	<b>Total:</b>	<b>52465</b>	<b>Promedio: 2,277</b>

Fuente. elaboración propia.

Ya teniendo el costo de mallas por pie promedio para el pozo offset y el pozo Liria YW-12, se prosiguió a realizar el cálculo de costos a las mismas profundidades en ambos pozos:

**Tabla 26.** Costo total de mallas ajustado para el pozo Offset.

Costo total pozo offset al espesor de 1689 ft (\$USD)	3.845,85
Costo total pozo offset con un espesor 5183 ft (\$USD)	11.803,05
<b>Costo total ajustado Pozo offset (\$USD)</b>	<b>15.648,85</b>

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 27.** Costo total de mallas ajustado para el pozo Liria YW-12.

Costo total pozo Liria al espesor de 1689 ft (\$USD)	3.807,00
Costo total pozo offset con un espesor 5183 ft (\$USD)	11.682,48
<b>Costo total ajustado Pozo liria(\$USD)</b>	<b>15.489,48</b>

Fuente: elaboración propia.

El resultado de trabajar los datos de esta manera es que el costo por pie de las mallas es más objetivo, debido a que se tiene en cuenta el espesor perforado y lo que se busca en una zaranda es que además de separar los sólidos de manera eficiente, prolongue también la vida útil de las mallas que este usando, reduciendo así el costo de uso de estas. Teniendo en cuenta lo anterior se puede observar en la Tabla 26 contra la Tabla 27 que el costo de mallas por pie en el pozo Liria YW-12 es un 2% menor respecto al pozo Offset, esto es importante teniendo en cuenta que la zaranda modular doble deck usa el doble de mallas comparada con la zaranda convencional porque esta cuenta con un tendido de 4 paneles que funcionan como scalper y otro tendido de 4 que actúan como zaranda primaria. Es importante tener en cuenta que el costo de mallas total fue mayor en el pozo offset debido a que se usó una mayor cantidad de mallas al ser una profundidad mayor perforada, y al ser algunas de estas mallas piramidales, su costo por unidad también es mayor. Una vez se ajusta el costo con el valor promedio de mallas por pie, para calcular el costo total para una profundidad similar en ambos pozos, se puede ver que el costo total de mallas es un 2% menor para el pozo Liria YW-12 (Tabla 26 y 27), esto siendo una gran ventaja teniendo en cuenta que la zaranda Sabre requiere de una mayor inversión inicial como consecuencia de que usa el doble de paneles que una zaranda convencional.

### 3.6 SCREEN LIFE

Para medir el screen life de las mallas, es decir, la vida útil, se usaron los datos de espesores de profundidad por sección y días de uso de malla. Este factor es importante al evaluar el rendimiento de una zaranda y depende de varias propiedades del equipo como el ángulo de los paneles o la cantidad de “G”s que produce. También se debe tener en cuenta el número de mallas desgastadas durante la perforación.

**3.6.1 Screen life (pies perforados).** La operación que se realizó para poder calcular este dato fue la división entre el número de mallas y el espesor perforado en las que se usaron estas.

**Tabla 28.** Screen life de las mallas pozo Liria YW-12 (Uso en pies perforados).

API	#Mallas	Tipo de malla	Espesor perforado(ft)	Screen Life (Mallas Usadas/ft perforado)
170	16	Plana	5183	0,0030
140	16	Plana	1689	0,0094
120	16	Plana	1689	0,0094
MG 35	16	Plana	6872	0,0023
MG 18	12	Plana	6872	0,0017
<b>Total:</b>	<b>76</b>			<b>Promedio: 0,0052</b>

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 29.** Screen life de las mallas pozo Offset (Uso en pies perforados).

API	#Mallas	Tipo de malla	Espesor perforado (ft)	Screen Life (Mallas usadas/ft perforado)
140	32	Piramidal	12977	0,0024
140	37	Plana	12977	0,0028
120	16	Plana	1823	0,0087
120	5	Piramidal	1823	0,0027
<b>Total</b>	<b>90</b>			<b>Promedio 0,0042</b>

Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar en la Tabla 28 y en la Tabla 29, el número de mallas usadas por pie fue mayor en Liria, esto se puede explicar bajo la siguiente premisa: la zaranda Modular doble deck usa el doble de paneles en comparación a una zaranda convencional, debido a los 4 paneles que funcionan como scalper y a los 4 paneles que funcionan como zaranda primaria. Teniendo en cuenta esta premisa, cuando se deba hacer el cambio de las mallas a diferentes API con el fin de mejorar el filtrado de sólidos, se deben cambiar el doble de mallas, incluso siendo esto así, el número de mallas usadas por pie perforado en la zaranda Modular doble deck no

fue el doble sino un 19.7% más alto, esto gracias a las mallas gruesas (MG 35 y MG 18) usadas en el sistema scalper, las cuales aparte de tener una mayor durabilidad como se puede apreciar en la Tabla 24 (donde se puede ver que no fueron cambiadas durante lo que va de la perforación del pozo Liria YW-12), permiten que las mallas más finas en el sistema primario tengan una mayor durabilidad al descartar los cortes más gruesos que aceleran el desgaste de las mallas finas.

**3.6.2 Screen life (tiempo).** La operación que se realizó para poder calcular este dato fue la división entre el número de mallas y el tiempo de uso (días) en el que se usaron estas.

**Tabla 30.** Screen life de las mallas pozo Liria YW-12 (Uso en días).

API	#Mallas	Tipo de malla	Tiempo de uso (días)	Screen Life (Mallas usadas/día)	
170	16	Plana	9	1,778	
140	16	Plana	7	2,286	
120	16	Plana	7	2,286	
MG 35	16	Plana	6	2,667	
MG 18	12	Plana	19	0,632	
<b>Total:</b>	<b>76</b>			<b>Promedio:</b>	<b>1,929</b>

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 31.** Screen life de las mallas pozo Offset (Uso en días).

API	#Mallas	Tipo de malla	Tiempo de uso (días)	Screen Life (Mallas usadas/día)	
140	32	Piramidal	36	0,899	
140	37	Plana	36	1,040	
120	16	Plana	5	3,200	
120	5	Piramidal	5	1,000	
<b>Total</b>	<b>90</b>			<b>Promedio:</b>	<b>1,535</b>

Fuente: elaboración propia.

El comportamiento reflejado en las Tablas 30 y 31 se puede explicar de la misma manera al de las Tablas 28 y 29, puesto que como ocurre en ese caso, el resultado fue mayor para la zaranda Modular doble deck debido a que usa más mallas que el sistema convencional. El uso de mallas por días para la zaranda Modular doble deck fue un 21% más alto que en la zaranda convencional.

Finalmente se mostrarán las mallas que fueron desgastadas en ambos pozos a sus profundidades correspondientes junto con su vida útil (#mallas desgastadas/espesor perforado).

**Tabla 32.** Mallas desgastadas pozo Liria YW-12.

API	#Mallas	Tipo de malla	Espesor perforado(ft)	Mallas Desgastadas	Screen life (mallas desgastadas/ft perforado)
170	16	Plana	5183	0	0
140	16	Plana	1689	0	0
120	16	Plana	1689	0	0
MG 35	16	Plana	6872	0	0
MG 18	12	Plana	6872	0	0
<b>Total:</b>	<b>76</b>		<b>Total:</b>	<b>0</b>	<b>Promedio: 0</b>

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 33.** Mallas desgastadas pozo Offset.

API	#Mallas	Tipo de malla	Espesor perforado (ft)	Mallas desgastadas	Screen life (mallas desgastadas/ft perforado)
140	32	Piramidal	12977	30	0,0023
140	37	Plana	12977	31	0,0023
120	16	Plana	1823	16	0,0087
120	5	Piramidal	1823	5	0,0027
<b>Total:</b>	<b>90</b>		<b>Total:</b>	<b>82</b>	<b>Promedio: 0,0040</b>

Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar en las Tablas 32 y 33, en el pozo Offset con la zaranda convencional se desgastaron la gran mayoría de las mallas (un 91%) mientras que en el pozo Liria YW-12 con la zaranda Modular doble deck no se desgastó ninguna (0%), hay que tener en cuenta que el pozo Offset fue terminado mientras que las operaciones en Liria YW-12 fueron pausadas por la pandemia, es por esto que para hacer una comparación más real hay que fijarse en la primera sección de ambos pozos, si se observan los datos obtenidos para esta primera sección en cada pozo se puede ver como todas las mallas que se usaron para la zaranda convencional fueron desgastadas sin la posibilidad de reutilizarse en futuros pozos, en cambio la zaranda modular doble deck no tuvo ningún desgaste en esta sección dejando 32 mallas reutilizables para futuros pozos, es verdad que al momento de perforar la segunda sección de este pozo (Liria YW-12) hubo un cambio de mallas en el sistema primario, pero este cambio de mallas fue por motivos de eficiencia en la

separación de sólidos y no por daños. Ya realizando esta comparativa se puede afirmar que la zaranda Modular doble deck tiene una ventaja significativa con respecto a la zaranda convencional en el Screen life y el costo de mallas que se deriva de este.

Esta ventaja se dio principalmente por dos razones, siendo la primera el sistema de scalper que tiene la zaranda Modular doble deck, el cual permite prolongar la vida útil de las mallas finas que son usadas en el sistema primario, la zaranda convencional al no poseer este sistema sufrió de desgastes en prácticamente todas sus mallas y hay que hacer énfasis en que una parte de estas fueron de tipo piramidal, las cuales tienen un mayor costo con respecto a las planas y en futuros pozos será necesario reponerlas.

La segunda razón por la cual las mallas de la zaranda convencional se desgastaron, es la fuerza G generada por el equipo, esta fue de 6,5 G mientras que la de la zaranda Modular doble deck fue de 5,9 G, lo que lleva a que los sólidos impacten con mayor fuerza la malla, haciendo que los materiales de esta sean sometidos a un mayor estrés, generando un desgastamiento con el tiempo y finalmente causando el rompimiento de la malla.



### 3.7 TABLA RECAPITULACIÓN

**Tabla 34.** Tabla recapitulación.

<b>Prueba de campo</b>	<b>Comentario</b>
Capacidad de procesamiento.	Esta prueba no se tuvo en cuenta para determinar que zaranda presenta un mejor rendimiento en campo, debido a que los datos suministrados para ambos pozos fueron medidos en el flow line y no en las zarandas.
Sólidos de baja gravedad (%LGS).	La zaranda modular doble deck obtuvo un 17% menos de contenido de sólidos de baja gravedad con respecto a la zaranda convencional en la primera sección (A1 y A2), en la segunda sección (B1 y B2) un 30% (lodo Clay Trol) y 28% (lodo Per Flex) respectivamente.
Retención de fluidos en los recortes (ROC).	<p>La zaranda convencional removió un 22% más de volumen de recortes con respecto a la zaranda modular doble deck en la primera sección (A1 y A2) y un 16% más en la segunda sección (B1 y B2).</p> <p>La zaranda modular doble deck disminuyó el porcentaje de humedad en los recortes un 9.6% entre las secciones A1 y B1, la zaranda convencional disminuyó este porcentaje un 2% entre las secciones A2 y B2.</p> <p>La zaranda modular doble deck descartó menos fluido con respecto a la zaranda convencional en la primera sección (A1 y A2) en un 14% y en la segunda (B1 y B2) un 21.8%.</p> <p>El costo de dilución de los fluidos de perforación fue menor en un 23,6 % en el pozo Liria YW-12 con respecto al pozo Offset.</p>
Costo de mallas	El costo de mallas por pie perforado en la zaranda Modular doble deck fue menor al de la zaranda convencional por un valor del 2%.
Screen life (Vida útil)	<p>El número de mallas usadas por pie perforado en la zaranda Modular doble deck fue un 19.7% más alto comparado con la zaranda convencional.</p> <p>El uso de mallas por días para la zaranda Modular doble deck fue un 21% más alto que en la zaranda convencional.</p> <p>La zaranda convencional desgastó el 91% de las mallas usadas y la zaranda modular doble deck no desgastó ninguna.</p>

**Fuente:** elaboración propia.

Como se puede observar en la tabla de recapitulación, la zaranda modular doble deck presenta un mejor rendimiento en la mayoría de las pruebas, donde solo tuvo falencias en la remoción de volumen de sólidos, por lo que se determina que es más viable (comparado con la zaranda convencional) implementarla para la perforación de futuros pozos en el campo Liria.

## 4. CONCLUSIONES

- La zaranda Modular doble deck tiene un rendimiento superior con respecto a la zaranda convencional cuando se trata de separar los sólidos de baja gravedad del lodo, esto se ve reflejado en que la zaranda convencional obtuvo un 17% más de sólidos de baja gravedad con respecto a la zaranda Modular doble deck en la primera sección (A1 y A2), y en la segunda sección (B1 y B2) un 30% (lodo Clay Trol) y 28% (lodo Per Flex) respectivamente. A nivel de sólidos de alta gravedad, ambas zarandas logran mantener estable el valor de estos durante la perforación.
- El desempeño de la zaranda Modular doble deck en el ámbito de procesamiento de sólidos es inferior comparado con la zaranda convencional, la cual dio un 22% de mayor volumen de recortes al comparar las secciones A1 y A2. Para las segundas secciones la diferencia fue menor, debido a que la zaranda Modular doble deck fue superada por un 16 % en volumen de recortes indicando menor capacidad de remoción de sólidos.
- La zaranda Modular doble deck logro costos de dilución menores con respecto a la zaranda convencional en un 23,6%, esto gracias a la disminución en el porcentaje de humedad, donde logró obtener un valor 7,2% más bajo en la segunda sección (B1 vs B2).
- La zaranda Modular doble deck tuvo un 19,7% más de uso en mallas por pie perforado y un 21% más de uso en mallas por día, esto debido a que tiene el doble de paneles en comparación a la zaranda convencional y no por desgaste de mallas. Con respecto a la durabilidad de las mallas, la zaranda Modular doble deck mostró un mejor desempeño porque no se desgastó ninguna malla en lo que va de la perforación del pozo Liria YW-12, a diferencia de la zaranda convencional que desgastó 82 de las 90 mallas usadas en el pozo Offset.
- Los costos de mallas por pie perforado en ambas zarandas fueron similares siendo el de la zaranda Modular doble deck menor por un valor del 2% incluso cuando esta uso el doble de mallas, estos resultados son debidos a la mejoría en vida útil de las mallas y a que en la zaranda convencional se usaron algunas mallas piramidales, las cuales son más costosas.
- Los resultados obtenidos permitieron corroborar la hipótesis, demostrando que la zaranda Modular doble deck cumple con su rendimiento en campo probado en las pruebas realizadas, debido a sus mejoras en el área de malla API y su sistema de

doble zaranda, sumado a unos costos más bajos asociados a las mallas y a la dilución del lodo de perforación.

## 5. RECOMENDACIONES

- Comparar el equipo usando lodo base aceite para analizar su comportamiento con este tipo de fluidos.
- Implementar mallas de tipo piramidal en la zaranda Modular doble deck, en busca de obtener mejoras de rendimiento en la remoción de sólidos y en la disminución de humedad en los recortes.
- Trabajar con el equipo a su máximo de fuerza G para poder medir su máxima capacidad de remoción de sólidos y mirar si disminuye significativamente la vida útil en las mallas.
- Comparar las zarandas en un mismo pozo para tener menos incertidumbre en los datos.
- Documentar el desempeño de la zaranda modular doble deck en futuros pozos para tener un análisis más robusto.
- Al tener la zaranda modular doble deck tres modelos, realizar un estudio entre los tres modelos para cuantificar las ventajas y desventajas que se tienen entre estos.

## BIBLIOGRAFÍA

AASE, Bodil, STATOIL ASA, OMLAND, Tor Henry, STATOIL ASA, JENSEN, Ellen Katrine, STATOIL ASA, VESTBAKKE, Anne Turid Lian, STATOIL ASA, KNUDSEN, Bjarte Sivert, STATOIL ASA, HALDORSEN, Frode, STATOIL ASA, NYSTED, Arvid, STATOIL ASA, STORSLETT, Eystein Ove, STATOIL ASA, STEINNES, Iren, STATOIL ASA, ELIASSEN, Einar Knut, STATOIL ASA, ENGER, Jorund, STATOIL ASA, LIE, Oyvind, STATOIL ASA, PEIKLI, Vegard, STATOIL ASA. Criticality Testing of Drilling Fluid Solids Control Equipment SPE/IADC, 2012.

AMERICAN ASSOCIATION OF DRILLING ENGINEERS. Shale Shakers and Drilling Fluid Systems: Techniques and Technology for improving solids control management, 1999.

BOTERO, Sebastian; TOVAR, Lizeth. Evaluación técnico- financiera de la implementación de las mallas piramidales en el sistema de control de sólidos primario durante la perforación de un pozo en la sección 12 ¼” en el campo castilla. Trabajo de grado. Fundación Universidad de América, 2008.

CASTRO, Lidumary; GONZALEZ, Juan David; ROMERO, Oscar Antonio. Análisis, Selección Y Guía Para La Implementación De Un Programa De Mantenimiento Para Equipos De Control De Sólidos, Tratamiento De Aguas Y Fluidos De Perforación Qmax Solutions. Tesis Doctoral. Universidad Industrial de Santander, Escuela De Ing. Mecánica, 2014.

ENERGY AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Manual de fluidos de perforación. Procedimiento estándar para las pruebas de fluido de perforación, 2001.

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

NATIONAL OILWELL VARCO. A Single BRANDT SABRE™ Shaker Easily Saves Operator Over \$190k Over 5 Well Program. {en línea} disponible en: <https://www.nov.com/-/media/nov/files/products/wbt/wellsite-services/sabre-shale-shaker/a-single-brandt-sabre-shaker-easily-saves-operator-over-190k-over-5-well-program-case-study-en.pdf>, 2019.

PORTLLO, Javier. Fundamentos del Control de Sólidos. Disponible en: <http://files.control-de-solidos.webnode.com.ve/200000002-308db3186c/CONTROL%20DE%20SOLIDOS.pdf>, 2016.

SOCIETY OF PETROLEUM ENGINEERS. {en línea} Petrowiki. Disponible en <https://petrowiki.org/PetroWiki>.

SOCIETY OF PETROLEUM ENGINEERS. Criticality Testing of Drilling-Fluid Solids-Control Equipment. SPE-159894-MS, 2013.

# **ANEXOS**



**ANEXO A**  
**DATOS SECCIÓN 26", 36" Y 18 1/2" POZO LIRIA YW-12**

# REPORTE	Profundidad (ft)	Fluido de perforación	Caudal (gal/min)	Densidad Lodo (lb/gal)	ROP (ft/hr)	LGS %	HGS%	PV (cp)	YP (lb/100ft <sup>2</sup> )	Funnel (s/qtgal)
1	115	Gel Benex	x	8.8	x	3.39	0	11	15	40
2	115	Gel Benex	x	8.8	x	x	x	x	x	x
3	115	Gel Benex	x	8.8	x	x	x	x	x	x
4	267	Gel Benex	500	8.8	25	2.99	0	12	20	44
5	519	Gel Benex	600	8.8	10	3.99	0	13	26	46
6	954	Gel Benex	1000	9	26.54	3.99	0	10	26	44
7	1554	Gel Benex	920	8.9	26.14	3.99	0	10	18	44
8	1804	Gel Benex	x	8.9	x	3.99	0	12	8	40
9	1804	Gel Benex	1000	8.8	x	3.71	0	8	12	38
10	1804	Gel Benex	342	8.8	x	3.66	0	7	14	38
11	1804	Gel Benex	250	9	x	3.66	0	7	14	37
12	1804	Gel Benex	250	9	x	3.66	0	7	14	38
13	1804	Gel Benex	x	8.5	x	1.74	0	5	10	45
14	1804	Clay Trol	500	8.6	x	1.74	0	5	10	45
15	1814	Clay Trol	799	8.6	x	1.94	0	5	10	39
16	1814	Clay Trol	500	8.6	x	1.94	0	5	10	38
17	1814	Clay Trol	701	8.6	x	1.94	0	5	10	38
18	2514	Clay Trol	846	8.7	66	1.93	0	9	14	39
19	2938	Clay Trol	500	8.9	x	2.93	0	9	14	40
20	2938	Clay Trol	0	8.8	x	2.93	0	9	15	39
21	2938	Clay Trol	0	8.8	x	2.93	0	9	15	39
22	2938	Clay Trol	0	8.9	x	2.93	0	9	14	41
23	2938	Clay Trol	700	8.9	x	2.93	0	9	15	40
24	3445	Clay Trol	910	8.9	37.61	3.81	0	8	14	39
25	4077	Clay Trol	951	8.9	31.3	2.8	0	9	16	40
26	4586	Clay Trol	1050	9	28.6	2.8	0	9	17	41
27	5110	Clay Trol	1051	9.2	35.82	4.48	0	9	17	41
28	5110	Clay Trol	x	9.2	x	4.38	1.58	9	17	40
29	5110	Clay Trol	x	9.2	x	4.38	1.58	9	17	40
30	5268	Clay Trol	1051	9.2	18.85	4.38	1.58	8	18	40
31	5800	Clay Trol	1051	9.3	26.84	3.99	1.98	7	17	40
32	6291	Clay Trol	1051	9.5	20.46	4.07	2.41	9	18	40
33	6512	Per Flex	1051	9.7	25.16	3.25	3.71	10	18	42
34	6987	Per Flex	1051	9.8	24.6	3.16	3.79	12	23	42

La "x" equivale a un valor nulo debido a que en esos momentos no se estaba perforando el pozo o no se obtuvieron datos.

## ANEXO B

### PRUEBAS FLUIDO DE PERFORACIÓN

**Densidad:** La densidad de los fluidos de perforación se determina por medio de una balanza de lodo. Esta consiste en una celda con tapa que sirve de "tara", montada en el extremo de un brazo graduado (ppg /g.e.). El brazo reposa sobre una base de apoyo y una pesa corrediza ubicada en el brazo que se desplaza hasta nivelar la celda que contiene el fluido. La balanza dispone de un nivel de burbuja para verificar el nivel. Las lecturas se toman directamente del aparato.

La balanza se debe calibrar con respecto al agua (8,334 ppg). Esferas de peso están ubicadas en el extremo opuesto de la celda. La adición o remoción de estas permiten aumentar o disminuir el peso del brazo para su respectiva calibración.

Cuando se toma la densidad de un fluido se debe tener la precaución de retirar el aire que puede contener el fluido, para evitar lecturas erróneas.

**Reología:** Las pruebas reológicas son realizadas con un viscosímetro rotativo de 6 velocidades.

- Llene la termo copa hasta la mitad con una muestra de lodo.
- Sumerja la camisa rotatoria en la muestra de lodo hasta la marca indicada en la camisa, levante el soporte móvil y asegure el tornillo que se encuentra en la parte superior de soporte móvil.
- Agite a 300 rpm mientras la termo copa calienta a 120°F.
- A la temperatura de prueba (120°F), coloque el viscosímetro a 600 rpm y espere que se establezca la lectura. Tome el valor indicado en el dial. Regístrelo como R600.
- Cambie la velocidad de rotación a 300 rpm y registre la lectura como R300 cuando se haya estabilizado.
- Tome las demás lecturas de 200 rpm (R200), 100 rpm (R100), 6 rpm (R6), y 3 rpm (R3)
- Coloque el viscosímetro a 600 rpm, espere a que se establezca, cambie a 3 rpm y rápidamente apague el viscosímetro. Espere por 10 segundos sin perturbar el fluido, entonces active el viscosímetro de nuevo midiendo a 3 rpm la mayor lectura del dial y regístrela como GEL DE 10 SEGUNDOS (lb/ 100 ft<sup>2</sup>)
- Repita el paso anterior, pero espere por 10 minutos y registre la lectura como GEL DE 10 MINUTOS (lb/ 100 ft<sup>2</sup>).

### **Retorta:**

- Recoja una muestra representativa de fluido de perforación y viértala a un embudo Marsh para eliminar cualquier material de circulación perdido y grandes recortes.
- Mezcle bien la muestra de fluido de perforación para asegurarse de que sea homogénea. Asegúrese de que no se inyecte aire en la muestra.
- Si la muestra contiene burbujas de gas o aire, agregue de 2 a 3 gotas de un agente antiespumante por cada 300 ml de muestra de fluido. Revuelva lentamente durante 2 a 3 minutos para liberar cualquier gas atrapado. El atrapamiento de aire o gas en la muestra dará como resultado erróneamente altos contenidos de sólidos. No pruebe líquidos que puedan contener formiatos. Los formiatos se cristalizarán y bloquean la boquilla.
- Registre la temperatura de la muestra. Debe estar dentro de 10 ° F (5.5 ° C) de la temperatura a la cual se determinó la densidad del lodo.
- Use el taladro con mango en T para despejar la boquilla de cualquier obstrucción.
- Empaque lana de acero en la cámara de expansión a aproximadamente 3/16 pulgadas (4,76 mm) por encima de los hilos. Según lo determinado por la experiencia, use solo suficiente lana de acero para evitar la ebullición de sólidos en el receptor de líquido.
- Usando una jeringa limpia, llene la taza de retorta lentamente con la muestra no aireada para evitar atrapamiento de aire. Golpee ligeramente el costado de la copa para expulsar el aire y colocar la tapa sobre la taza. Gire la tapa para obtener un ajuste adecuado y asegúrese de que un pequeño exceso de líquido fluya por el orificio de la tapa. Al hacer pruebas con recortes, NO ponga la tapa sobre la copa. Los esquejes pueden bloquear el agujero en la tapa.
- Lubrique los hilos en la rosca de la copa de muestra con una capa ligera de hilo lubricante. Esto evitará la pérdida de vapor a través de los hilos y también facilitará el desmontaje del equipo al final de la prueba.
- Apriete con cuidado la copa de retorta en la cámara de expansión.
- Inserte el brazo de la cámara de expansión en la conexión del condensador. Apriete la tapa del tornillo en la conexión, coloque la cámara en la camisa de calentamiento y cierre la tapa aislante.
- Coloque un receptor de líquido limpio y seco debajo del tubo de descarga del condensador. La longitud de este receptor puede requerir que esté inclinado o apoyado desde el borde de la mesa de trabajo. Si el clip del condensador está apoyado en el receptor, tenga cuidado de no romper el borde del cristal en el condensador.
- Conecte la retorta a una toma de corriente para encenderla. Observe que el líquido este saliendo del condensador. Continúe calentando durante diez minutos más allá del tiempo que no se recolecta más condensado. Si todo el lodo hierve en el tubo receptor, la prueba debe volverse a ejecutar.
- Empaque el cuerpo de la retorta con una mayor cantidad de lana de acero y vuelva a ejecutar la prueba. Permita que corra un mínimo de 45 minutos. La luz en el frente de la réplica se encenderá mientras los calentadores estén encendidos.

- Retire el receptor de líquido y permita que se enfríe. Después de que se haya enfriado a temperatura ambiente, lea y registre los volúmenes (o volumen porcentaje) de lo siguiente:
  - a. volumen total de líquido
  - b. volumen de aceite
  - c. volumen de agua

Una gota de agente humectante mejorará el menisco para facilitar la lectura. Siempre lea los volúmenes desde el punto más bajo en la curva del menisco dentro del receptor.

Si hay una interfaz de emulsión entre las fases de aceite y agua, calentar la interfaz puede romper la emulsión. Una forma de hacer esto es quitar el conjunto de retorta de la camisa de calentamiento agarrando el condensador. Caliente cuidadosamente el receptor a lo largo de la banda de emulsión tocando el receptor por cortos intervalos con la cámara de retorta caliente. Evitar llevar el líquido a ebullición. Después de que la interfaz de la emulsión se rompa, permita que el receptor se enfríe y lea el volumen de agua en el punto más bajo del menisco.

- Apague la retorta y permita que se enfríe antes de limpiarla. No usar agua fría para tratar de enfriar rápidamente la cámara.
- Use el taladro con mango en T para despejar la boquilla de cualquier obstrucción. El equipo recuperará casi el 100% del petróleo refinado que se está probando. Sin embargo, si el fluido de perforación está compuesto de petróleo crudo, las corridas de calibración pueden no ser precisas, ya que el porcentaje conocido de petróleo crudo en solución deberá ser predeterminado. La recuperación de algo de petróleo crudo puede ser tan bajo como un 60% debido a impurezas en el fluido, por lo que el petróleo crudo es un pobre indicador de la precisión del instrumento.