

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

SEBASTIAN BOTERO GALINDO  
LIZETH JULIANA TOVAR GRANADOS

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
BOGOTÁ D.C.  
2018

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

SEBASTIAN BOTERO GALINDO  
LIZETH JULIANA TOVAR GRANADOS

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

Director  
LEONARDO FABIO CORTES SILVA  
Ingeniero Químico

Orientador  
CARLOS ALBERTO ESPINOSA MORA  
Ingeniero de Petróleos

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
BOGOTÁ D.C.  
2018

## Nota de Aceptación

---

---

---

---

---

Ing. Carlos Alberto Espinosa Mora  
Presidente Jurado

---

Ing. Leandro Uriel Gomez Barbosa  
Jurado 1

---

Ing. Ivan Peñaloza Cristancho  
Jurado 2

Bogotá D.C., febrero de 2018

## **DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD**

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

**Dr. JAIME POSADA DÍAZ**

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

**Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA**

Vicerrectora Académica y de Posgrados

**Ing. ANA JOSEFA HERRERA VARGAS**

Secretario General

**Dr. JUAN CARLOS POSADA GARCÍA – PEÑA**

Decano de la Facultad de Ingenierías

**Ing. JULIO CESAR FUENTES ARISMENDI**

Director del Programa de Ingeniería de Petróleos

**Ing. JOSE HUMBERTO CANTILLO SILVA**

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

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan su agradecimiento a la FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA, por la formación intelectual y moral, que fue base para realizar este proyecto.

A la EMPRESA RAMDE SOLIDS CONTROL, por abrir sus puertas y brindar la confianza al autorizar el acceso a su información, especialmente al Ingeniero LUIS E. ZORRILLA AHUMADA y al Ingeniero GONZALO BARON PINZÓN, por su acompañamiento y ayuda incondicional.

Al Ingeniero LEONARDO FABIO CORTES SILVA, por toda la colaboración, paciencia y tiempo invertido en este trabajo.

Al Ingeniero CARLOS ALBERTO ESPINOSA MORA, por su orientación, interés y compromiso para que este trabajo se desarrollara de la mejor manera posible.

Al Ingeniero JAIME FERNANDO AMARIZ ORTIZ, por compartir sus conocimientos y su apoyo, desde el principio del trabajo, hasta la finalización del mismo.

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

A todos ellos, nuestro reconocimiento y admiración.

## DEDICATORIA

*Mi dedicación, en primer lugar, es para Dios, por brindarme la sabiduría, salud y vida, para hacer esto posible.*

*A mi madre, porque este logro es mas de ella que mío, porque solo ella sabe cuántos obstáculos superamos juntas, por ser mi motor, por creer en mí y estar presente en cada paso de mi vida, apoyándome y brindándome su amor incondicional. A TI MAMÁ, INFINITAS GRACIAS.*

*A mi hermano porque con sus palabras, lograba dar alegría a los momentos más difíciles y fortaleza para seguir adelante.*

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

*Por último, pero no menos importante, gracias a mis amigos que estuvieron presentes desde el inicio hasta el final de mi carrera universitaria, haciendo de ella, uno de los mejores recuerdos, que permanecerán en mi corazón, para siempre.*

**JULIANA**

## DEDICATORIA

*Primeramente, quiero agradecerle a Dios, por darme salud y conocimiento, para poder cumplir este logro.*

*A mis padres, por acompañarme en este largo camino, con amor, paciencia y brindarme los consejos que hacen de mí una mejor persona.*

*A mi hermano por permitirme ser su ejemplo, hacer que este esfuerzo valga la pena y expresar cuanto lo quiero.*

*A mi compañera Julianna Tovar por tenerme paciencia y dar su mayor esfuerzo para alcanzar esta meta.*

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

**SEBASTIAN**



## CONTENIDO

	pág
RESUMEN	28
INTRODUCCIÓN	29
OBJETIVOS	30
<b>1. GENERALIDADES DEL CAMPO CASTILLA</b>	<b>31</b>
1.1 HISTORIA DEL CAMPO	31
1.2 LOCALIZACIÓN	32
1.3 MARCO GEOLOGICO	34
1.3.1 Columna estratigráfica	34
1.3.2 Estratigrafía	36
1.3.2.1 Basamento	36
1.3.2.2 Formación Une	36
1.3.2.3 Formación Gacheta	37
1.3.2.4 Formación Guadalupe	37
1.3.2.5 Formación Barco	37
1.3.2.6 Formación Los Cuervos	37
1.3.2.7 Formación Mirador	38
1.3.2.8 Formación Carbonera	38
1.3.2.9 Formación León	39
1.3.2.10 Formación Guayabo	39
1.3.2.11 Formación Necesidad	40
1.3.3 Geología estructural	40
1.3.4 Geología del petróleo	41
1.3.4.1 Roca generadora principal	41
1.3.4.2 Roca reservorio	41
1.3.4.3 Roca sello	42
1.3.4.4 Migración	42
1.3.4.5 Trampa	42

1.4	HISTORIA DE PRODUCCION DEL CAMPO	42
1.4.1	Método de producción	44
1.4.2	Tiempo de producción	44
1.4.3	Número de pozos	45
1.4.4	Producción acumulada	45
<b>2.</b>	<b>GENERALIDADES DEL SISTEMA DE CONTROL DE SÓLIDOS Y PRUEBAS REALIZADAS A LOS CORTES, EN LA PERFORACIÓN DE LA SECCIÓN 12 ¼" DEL CAMPO CASTILLA</b>	<b>47</b>
2.1	FLUIDO DE PERFORACIÓN	47
2.2	SÓLIDOS EN EL FLUIDO DE PERFORACIÓN	51
2.2.1	Clasificación según la fuente	51
2.2.2	Clasificación según la gravedad específica	51
2.2.3	Clasificación según el tamaño de partícula	52
2.2.4	Clasificación según la actividad eléctrica	53
2.2.5	Clasificación según los resultados de la prueba de retorta	54
2.2.6	Clasificación Según el reporte diario de operaciones de sólidos	54
2.3	CONTROL DE SÓLIDOS	54
2.4	EQUIPOS DE CONTROL DE SÓLIDOS	57
2.4.1	Zaranda vibratoria	57
2.4.2	Limpiador de lodo o <i>mud cleaner</i>	57
2.4.3	Bomba centrífuga	58
2.4.4	Centrífuga decantadora	58
2.5	ZARANDA VIBRATORIA	59
2.5.1	Zaranda Vibratoria M-Swaco Mongoose PT	60
2.5.2	Zaranda Vibratoria Hyperpool	61
2.6	CLASIFICACIÓN SEGÚN EL PATRÓN DE VIBRACIÓN	63
2.6.1	Movimiento Circular	63
2.6.2	Movimiento Lineal	64
2.6.3	Movimiento Elíptico Balanceado	64
2.6.4	Movimiento Elíptico Desbalanceado	65

2.7	MALLAS PARA ZARANDAS VIBRATORIAS	66
2.8	PRUEBAS A REALIZAR EN LOS CORTES DE PERFORACIÓN	71
2.8.1	Porcentaje de humedad	71
2.8.2	Densidad	71
2.8.3	Remoción de sólidos	71
<b>3.</b>	<b>ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LAS ZARANDAS CON MALLAS PLANAS Y PIRAMIDAL, EN LA PERFORACIÓN DE LA SECCIÓN 12 ¼” DE DOS POZOS EN EL CAMPO CASTILLA</b>	<b>72</b>
3.1	ZARANDA MONGOOSE	72
3.1.1	Descripción de los equipos de control de sólidos primarios	72
3.1.2	Toma de muestras	73
3.1.3	Resultados de las pruebas	73
3.1.3.1	Humedad de los recortes	73
3.1.3.2	Densidad	74
3.1.3.3	Remoción de sólidos	75
3.1.3.4	Área de secado	76
3.1.3.5	Cantidad de mallas	78
3.2	ZARANDAS VIBRATORIAS HYPERPOOL	78
3.2.1	Descripción de los equipos de control de sólidos primarios	78
3.2.2	Toma de muestras	79
3.2.3	Resultados de las pruebas	79
3.2.3.1	Humedad de los recortes	79
3.2.3.2	Densidad	80
3.2.3.3	Remoción de sólidos	81
3.2.3.4	Área de secado	82
3.2.3.5	Cantidad de mallas	83
<b>4.</b>	<b>COMPARACIÓN LAS MALLAS PIRAMIDALES DE LAS ZARANDAS HYPERPOOL CON RESPECTO A LAS MALLAS PLANAS DE LAS ZARANDAS MONGOOSE, TENIENDO EN CUENTA LOS DATOS OBTENIDOS EN CAMPO</b>	<b>85</b>
4.1	COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS	85

4.1.1	Humedad de los recortes	85
4.1.2	Densidad	86
4.1.3	Remoción de sólidos	86
4.1.4	Área de secado	87
4.1.5	Cantidad de mallas	88
4.2	Comparación general	89
<b>5.</b>	<b>ESTUDIO FINANCIERO</b>	<b>92</b>
5.1	ANÁLISIS DE COSTOS DE OPERACIÓN	94
5.1.1	Escenario 1	94
5.1.2	escenario 2	95
5.2	EVALUACIÓN FINANCIERA	96
5.3	FLUJO DE CAJA	97
5.3.1	Escenario 1	97
5.3.2	Escenario 2	98
5.4	CONCLUSIÓN DE LA EVALUACIÓN FINANCIERA	99
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>100</b>
<b>7.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>101</b>
	BIBLIOGRAFÍA	102
	ANEXOS	105

## LISTA DE TABLAS

	pág
<b>Tabla 1.</b> Clasificación Gravedad Específica	52
<b>Tabla 2.</b> Clasificación Tamaño de Partícula	53
<b>Tabla 3.</b> Especificaciones operacionales de las mallas planas y equipos primarios.	72
<b>Tabla 4.</b> Características de las muestras de fluido tomadas de las mallas planas	73
<b>Tabla 5.</b> Porcentaje de humedad de los recortes.	74
<b>Tabla 6.</b> Profundidad, parámetros operacionales y humedad de los recortes promedios	74
<b>Tabla 7.</b> Densidades tomadas	75
<b>Tabla 8.</b> Profundidad, datos operacionales y densidades promedios.	75
<b>Tabla 9.</b> Eficiencia de remoción de sólidos	76
<b>Tabla 10.</b> Profundidad, datos operacionales y eficiencia de la remoción de sólidos promedio	76
<b>Tabla 11.</b> Área de secado	77
<b>Tabla 12.</b> Profundidad, datos operacionales y área de secado	77
<b>Tabla 13.</b> Mallas utilizadas	78
<b>Tabla 14.</b> Especificaciones operacionales de las mallas piramidales	78
<b>Tabla 15.</b> Características de las muestras fluido tomadas de las mallas piramidales	79
<b>Tabla 16.</b> Porcentaje de humedad de los recortes	80
<b>Tabla 17.</b> Profundidad, parámetros operacionales y humedad de los recortes promedios	80
<b>Tabla 18.</b> Densidades tomadas	81
<b>Tabla 19.</b> Profundidad, datos operacionales y densidades promedios	81
<b>Tabla 20.</b> Eficiencia de remoción de sólidos	82
<b>Tabla 21.</b> Profundidad, datos operacionales y eficiencia de la remoción de sólidos promedio	82
<b>Tabla 22.</b> Porcentaje de área de secado	83
<b>Tabla 23.</b> Profundidad, datos operacionales y área de secado	83
<b>Tabla 24.</b> Mallas Utilizadas	84
<b>Tabla 25.</b> Comparación del porcentaje de humedad de los recortes	85
<b>Tabla 26.</b> Comparación de la eficiencia de remoción de sólidos	86
<b>Tabla 27.</b> Comparación de la eficiencia de remoción de sólidos	86
<b>Tabla 28.</b> Comparación del área de secado	87
<b>Tabla 29.</b> Comparación de cantidad de mallas	88
<b>Tabla 30.</b> Comparación general	89
<b>Tabla 31.</b> Costos unitarios	94

<b>Tabla 32.</b> Campaña de perforación	94
<b>Tabla 33.</b> Costo por pozo del escenario 1	95
<b>Tabla 34.</b> Costos de operación escenario 1	95
<b>Tabla 35.</b> Costo por pozo del escenario 2	95
<b>Tabla 36.</b> Costos de operación en la campaña de perforación del escenario 2	96

## LISTA DE CUADROS

	pág
<b>Cuadro 1.</b> Clasificación Actividad Eléctrica	53
<b>Cuadro 2.</b> Clasificación Actividad Eléctrica	54

## LISTA DE GRÁFICAS

	pág
<b>Grafica 1.</b> Producción Diaria	44
<b>Grafica 2.</b> Producción fiscalizada de petróleo	45
<b>Grafica 3.</b> Comparación del porcentaje de humedad de los recortes	86
<b>Grafica 4.</b> Comparación de la eficiencia de remoción de sólidos	87
<b>Grafica 5.</b> Comparación del área de secado	87
<b>Grafica 6.</b> Comparación de cantidad de mallas	89
<b>Grafica 7.</b> Comparación general	90
<b>Grafica 8.</b> Comparación de densidades	90
<b>Grafica 9.</b> Flujo de caja del escenario 1	97
<b>Grafica 10.</b> Flujo de caja del escenario 2	98



## LISTA DE FIGURAS

	pág
<b>Figura 1.</b> Localización del Campo Castilla	33
<b>Figura 2.</b> Columna estratigráfica generalizada de la Cuenca de los Llanos	35
<b>Figura 3.</b> Corte esquemático de la Cuenca Llanos Orientales, en el sector adyacente a la Cordillera Oriental	40
<b>Figura 4.</b> Producción acumulada y producción diaria de los campos de la Cuenca	43
<b>Figura 5.</b> Producción mensual de crudo Campo Castilla	46
<b>Figura 6.</b> Sistema de circulación del fluido de perforación	47
<b>Figura 7.</b> Fluido de Perforación	48
<b>Figura 8.</b> Propiedades Reológicas	50
<b>Figura 9.</b> Mecanismos de Control de Sólidos	56
<b>Figura 10.</b> Instalación de Equipos de Control de Sólidos	59
<b>Figura 11.</b> Componentes básicos de una zaranda vibratoria	60
<b>Figura 12.</b> Zaranda Vibratoria Mongoose PT	61
<b>Figura 13.</b> Zaranda Vibratoria Hyperpool	62
<b>Figura 14.</b> Objetivos principales de la zaranda vibratoria	63
<b>Figura 15.</b> Movimiento circular de la canasta	64
<b>Figura 16.</b> Movimiento lineal de la canasta	64
<b>Figura 17.</b> Movimiento elíptico simétrico de la canasta	65
<b>Figura 18.</b> Movimiento elíptico desbalanceado de la canasta	65
<b>Figura 19.</b> Parámetros de selección de la malla	67
<b>Figura 20.</b> Malla piramidal (Derrick)	68
<b>Figura 21.</b> Malla de Numero Mesh 8	69
<b>Figura 22.</b> Curva típica de punto de corte	70
<b>Figura 23.</b> Estado Mecánico. Pozo Castilla 216	93

## LISTA DE ECUACIONES

	pág
<b>Ecuación 1.</b> Fuerza G	666
<b>Ecuación 2.</b> Determinación Matemática del Valor Presente Neto	96

## LISTA DE ANEXOS

	pág
<b>Anexo A.</b> API RP 13C (iso 13501)	106
<b>Anexo B.</b> Porcentaje de humedad	107
<b>Anexo C.</b> Densidad	111
<b>Anexo D.</b> Remoción de sólidos	115

## **ABREVIATURAS**

**API:** Instituto Americano de Petróleo

**BDP:** Barriles de petróleo

**BPPD:** Barriles Promedio de Petróleo

**GPM:** Galones Por Minuto

**HC:** Hidratos de Carbono

**IH:** Índice de Hidrogeno

**KBPD:** Miles de barriles por día

**mg:** Miligramos

**MMBO:** Millones de Barriles de Petróleo

**ROP:** Tasa de Penetración

**TOC:** Carbono Orgánico Total

**USD:** Dólar estadounidense

**VPN:** Valor Presente Neto

## GLOSARIO

**ACUIFERO:** roca porosa y permeable que permite la retención del agua en cantidades suficientes para su posterior extracción en beneficio del hombre.

**ACUÑAMIENTO:** estrato rocoso o filón mineral que se adelgaza o acuña lateralmente.

**AFLORAMIENTO:** todo tipo de roca, mineral (filones, vetas), agua, etc., que se observa en la superficie terrestre. Generalmente las rocas se hallan cubiertas por los materiales descompuestos.

**AMBIENTE DE DEPOSITACIÓN:** Punto geográfico donde se acumulan los sedimentos, cada lugar se caracteriza por una combinación particular de procesos geológicos y condiciones ambientales (físicas, químicas y biológicas) que la diferencian de zonas adyacentes.

**ALBIANO:** piso superior del Cretáceo inferior, llamado así por el francés Aube.

**ANTICLINAL:** plegamiento en el cual las rocas estratificadas buzan en sentido contrario (divergen) a partir de un plano denominado axial.

**ARCILLA:** partículas finas, principalmente de silicatos, de dimensiones menores de 1/256 mm. Provenientes de la alteración física y química de las rocas y minerales.

**ARENISCA:** roca sedimentaria con textura detrítica, compuesta de granos minerales de tamaño arena, cuyo diámetro promedio de grano es de 0.0625 a 2mm. Puede estar compuesta por Cuarzo, Feldespato o fragmentos líticos, material cementante que mantiene los granos unidos y algunas veces una matriz sílice.

**BOMBA TRIPLE:** bomba alternativa de desplazamiento positivo que está configurada con tres émbolos. Las bombas triples son la configuración más común de bomba utilizada tanto en operaciones de perforación como en servicios a pozos. Las bombas utilizadas en actividades de servicios a pozos son capaces generalmente de manejar un amplio rango de tipos de fluidos, incluso fluidos corrosivos, fluidos abrasivos y lechadas con partículas relativamente grandes.

**CALCÁREA:** roca compuesta esencialmente por carbonato de calcio (calcita).

**CATCH TANK:** es el tanque donde caen los cortes de perforación de la zaranda vibratoria.

**COLUMNA GEOLÓGICA:** es una representación gráfica de la historia de la tierra. También se denomina Escala Geológica o Geograma o Columna Cronoestratigráfica. La columna geológica se prepara partiendo de la época más antigua, superponiendo las más modernas, hasta llegar en la parte superior a la época actual.

**CONTACTO CONCORDANTE:** secuencia intacta formada generalmente en forma paralela, donde la unidad de arriba es depositada de forma más o menos sin interrupción sobre la de abajo.

**CONTACTO DISCORDANTE:** secuencia que presenta interrupción en la depositación y existe un hiato (tiempo geológico durante el cual no hay sedimentos o estratos) entre las dos unidades en contacto.

**CRETÁCEO:** es el período más reciente de la Era Mesozoica, con una duración de aproximadamente 80 millones de años, suprayace a los estratos del Jurásico e infrayace a los del Paleoceno (base del Terciario o Cenozoico).

**CUARZO:** óxido silíceo  $\text{SiO}_2$ . Se presenta en cristales prismáticos tabulares del sistema hexagonal, a veces amorfo. Presenta fractura concooidal, brillo vítreo, incoloro. Dureza 7 en la escala de Mohs, es uno de los minerales más comunes de la corteza terrestre.

**CUENCA:** estructura geológica cóncava, donde los buzamientos de los estratos convergen hacia un punto central. Depresión de la tierra donde se realiza la sedimentación.

**CUENCA SEDIMENTARIA:** región deprimida de la corteza terrestre limitada por arcos estructurales o cadenas montañosas, donde se produce la acumulación de materiales fragmentarios o la precipitación de sustancias disueltas en las aguas que cubre la mencionada región.

**DATACIÓN:** es el método de determinar la edad de una roca, mineral o fósil. La edad puede ser absoluta cuando es determinada por métodos radiométricos o radioactividad de los minerales y relativa cuando es determinada mediante las correlaciones o interrelaciones entre las secuencias estratigráficas o por los caracteres paleontológicos de los fósiles que se hallan contenidos en las rocas.

**DELTÁICA:** forma de estratificación, generalmente cruzada, observada en los deltas: Estratificación deltaica simple formada bajo condiciones de aguas estacionarias.

**DEPÓSITO CONTINENTAL:** denominación genérica usada para la acumulación de materiales que ocurren en áreas dentro de los continentes, que pueden ser depresiones, fondos de los ríos (lechos), fondos de los lagos, talud de escombros, etc.

**DEPÓSITO DELTÁICO:** material acumulado en los deltas de los ríos, que se caracteriza por contener materiales finos comprendidos entre arenas finas y arcillas, con poco limo y presentar estratificación cruzada.

**DEPÓSITO MARINO:** materiales depositados y acumulados en los fondos marinos, incluyendo las riberas litorales. De acuerdo con el lugar de sedimentación los depósitos marinos se clasifican en: litorales, neríticos y batiales.

**EDAD:** subdivisión cronológica del tiempo geológico correspondiente a un período de tiempo inferior a época y superior a Fase y Crono. En cuanto a la escala estratigráfica corresponde a Piso. Varios cronos forman una edad.

**EOCENO:** período geológico comprendido entre el Paleoceno y el Mioceno de la Era Cenozoica o Terciaria. Eoceno deriva del griego Eo que significa aurora, albores, comienzo, principio, inicio.

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

**ESQUISTO:** es una roca metamórfica, producto del metamorfismo de las rocas volcánicas de textura afanítica o de las rocas sedimentarias de grano fino. En los esquistos generalmente se observan minerales micáceos (micas, sericita, clorita), así como talco y serpentina. Generalmente los esquistos presentan estructuras bandeadas.

**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 sobreyacen a las inferiores formando un ángulo.

**ESTRATIGRAFÍA:** es la ciencia que estudia la secuencia o sucesión de las capas o estratos que se han formado a través del tiempo geológico.

**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.

**ESTUARIO:** forma de desembocadura de un río en el océano, formando una sola entrada o bocana, generalmente expuesto a las corrientes marinas y a las mareas que impiden la acumulación de detritus. Tiene la forma de un triángulo, de vértice agudo cuyo vértice se ubica en el continente y la base que es pequeña en el océano.

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

**FALLA INVERSA:** es cuando el piso baja con respecto al techo o el techo sube con respecto al piso, o ambos bloques se desplazan en el sentido indicado. Las fallas inversas, generalmente son producto de los esfuerzos de compresión.

**FALLA NORMAL:** es cuando el techo baja con respecto al piso o el piso sube con respecto al techo, o ambos se desplazan en el sentido indicado. Las fallas normales son, generalmente producto de los esfuerzos de tensión.

**FASE:** término usado para designar una parte o período de tiempo geológico en el cual se desarrolla un proceso geológico.

**FILITA:** roca metamórfica producto del metamorfismo intenso de las arcillas y lutitas. Es frecuente encontrar silicatos alumínicos, clorita, sericita, magnetita, estaurolita, pirita, turmalina y otros minerales de metamorfismo. Las filitas se encuentran en las formaciones rocosas antiguas, mayormente paleozoicas y mesozoicas o precambrianas.

**FORMACIÓN:** es una secuencia de rocas, generalmente de características semejantes, en cuanto a litología, fósiles y edad. Por lo tanto, poseen una facies semejante, cuencas de deposición semejantes y cercanas, y fuentes de aportes de materiales también semejantes.

**GEOLOGÍA ESTRUCTURAL:** es la ciencia que estudia las deformaciones de la corteza terrestre relacionadas con el tiempo geológico. Estudia las deformaciones orogénicas, diastróficas, epirogénicas, etc. Las deformaciones pueden ser pliegues (homoclinales, anticlinales, sinclinales, domos, etc.), fallas (normales, inversas, etc.), intrusiones (vetas, diques, lacolitos, batolitos, etc.).

**GEOLOGÍA DEL PETRÓLEO:** ciencia que se ocupa del estudio de los yacimientos del petróleo. Estudia su origen, época de formación, rocas favorables, condiciones geológicas favorables para su entrapamiento, su evolución, etc.

**ÍGNEA:** roca que se forma a partir de la solidificación del magma en su ascensión a la superficie terrestre.

**INFRAYACENTE:** estrato o roca que reposa por debajo de otro superior.

**KERÓGENO:** materia orgánica contenida en sedimentos bituminosos y que por destilación produce aceites minerales.

**LIMOLITA:** es una roca compuesta por fragmentos de limo, consolidados y diagenizados. La limolita es de origen sedimentario, clástico.

**LUTITA:** roca formada por la consolidación de partículas muy finas, arcillas. Presenta estructura laminar, muy fina, friable.



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

**MIGRACIÓN DEL PETRÓLEO:** movimiento del petróleo en el subsuelo por efectos tectónicos, condiciones físicas o efectos hidráulicos.

**NEÓGENO:** agrupamiento de los dos períodos del Cenozoico superior, el Mioceno y el Plioceno.

**OLIGOCENO:** período geológico del Cenozoico o Terciario, comprendido entre el Eoceno infrayacente y el Mioceno suprayacente. Su duración fue de 7 millones de años.

**PALEOZOICO:** era comprendida entre el Precambriano infrayacente y el Mesozoico suprayacente. Se le denomina también Era Primaria.

**POZO:** el agujero perforado o el pozo, incluyendo el tramo descubierto o no entubado. El término pozo puede referirse al diámetro interno de la pared del pozo, la pared de roca que limita el pozo perforado.

**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.

**REGISTRO ELÉCTRICO:** un registro obtenido utilizando un cable eléctrico. En este sentido, el término se refiere a cualquier registro adquirido con cable, independientemente de que mida una magnitud eléctrica o no. El término se remonta a los primeros días de la técnica de adquisición de registros, en los que los únicos registros eran el registro de potencial espontáneo y el registro de resistividad, obtenidos con los dispositivos de electrodos convencionales.

**REGRESIÓN:** alejamiento del mar de los continentes, debido al levantamiento de las costas, o al descenso de las aguas de los océanos. Las regresiones marinas provocan grandes modificaciones en los paisajes del litoral tales como: aceleración de la erosión marina sobre el litoral, rejuvenecimiento de los procesos fluviales por cambio del nivel de base, formación de playas suspendidas, etc.

**REOLOGÍA:** la reología es una 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.

**ROCA GENERADORA:** roca sedimentaria, generalmente lutita o caliza, que, debido a la presencia de calor, temperatura y su alto contenido de materia orgánica ha generado petróleo o gas.

**ROCA RESERVORIO:** tipo de roca porosa y permeable que permite el almacenamiento de agua, petróleo y /o gas natural.

**ROCA SELLO:** roca altamente impermeable que impide que los fluidos migren ms allá del yacimiento al formar una barrera alrededor de la roca reservorio.

**SHALE:** es una roca sedimentaria clástica de grano fino compuesta de lodo el cual es una mezcla de minerales arcillosos y pequeños fragmentos de otros minerales, principalmente cuarzo y calcita.

**SÓLIDOS DE ALTA GRAVEDAD ESPECÍFICA:** sólidos densos, tales como la barita o la hematita, que se adicionan a un lodo para aumentar su densidad, conocidos también como material densificante. La concentración de los sólidos de alta gravedad específica es medida por el ingeniero de lodos diariamente utilizando el peso del lodo, los datos de retorta, los datos de titulación de cloruro y otras informaciones. Los sólidos se informan como lbm/bbl o % vol. La gravedad específica del agua es 1,00, de la barita es 4,20 y de la hematita es 5,505 g/cm<sup>3</sup>. Normalmente se asume que en los sólidos de perforación y otros sólidos de baja gravedad específica es 2,60 g/cm<sup>3</sup>.

**SÓLIDOS DE BAJA GRAVEDAD ESPECÍFICA:** 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. 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. La gravedad específica del agua es 1,00, de la barita es 4,20 y de la hematita es 5,505 g/cm<sup>3</sup>. Normalmente se asume que los sólidos de baja gravedad específica tienen una densidad de 2,60 g/cm<sup>3</sup>.

**SUPRAYCENTE:** material (estrato o roca) que reposa sobre otro material.

**TIXOTROPÍA:** la característica de un fluido, tal como el lodo de perforación, de formar una estructura gelificada con el tiempo cuando no está sujeto a cizalladura y luego fluidificarse cuando es agitado. La viscosidad del fluido tixotrópico cambia con el tiempo a una velocidad de corte constante hasta alcanzar el equilibrio. La mayoría de los lodos de perforación presentan tixotropía, que es necesaria para una perforación rápida y una elevación eficiente de los recortes de perforación y para soportar el material densificante cuando el flujo del lodo se detiene.

**TRAMPA PETROLÍFERA:** terrenos con condiciones geológicas favorables para la formación de yacimientos petrolíferos. Trampa estructural, trampa anticlinal, trampa de falla.

**TRANSGRESIÓN:** invasión de las aguas de los océanos a los continentes, causados por la variación del nivel de las aguas o por el hundimiento de las costas o continentes.

**YACIMIENTO:** lugar o terreno donde se ubican minerales de rendimiento económico o fósiles.

## RESUMEN

En el presente trabajo de grado se realiza una evaluación técnica y financiera de la implementación de mallas piramidales en el equipo primario de control de sólidos para la perforación de la sección 12 ¼" del pozo Castilla 416, en el Campo Castilla, ubicado específicamente al Sur Occidente de la Cuenca de los Llanos Orientales. Para realizar la evaluación, se estudió las generalidades geológicas del campo, como lo son, la historia, localización, estratigrafía, geología del petróleo e historia de producción, y las generalidades y características del control de sólidos, el equipo primario y las mallas utilizadas.

Para el análisis del comportamiento de las mallas planas utilizadas actualmente en la perforación del campo y las mallas piramidales que se desean implementar, se llevaron a cabo tres pruebas de campo y laboratorio, las cuales fueron humedad de los recortes, densidad del fluido de perforación y remoción de sólidos, con el fin de comparar técnicamente ambas mallas, de acuerdo a los resultados obtenidos durante la operación.

Se realiza la evaluación técnica con los resultados obtenidos en las pruebas, donde se evidenció que, a comparación de las mallas planas, las mallas piramidales presentan una disminución en la humedad de los recortes, la densidad del fluido de perforación y remueve mayor cantidad de sólidos no deseados.

Para finalizar, se lleva a cabo la evaluación financiera del proyecto para dos escenarios, uno con malla plana y otro con malla piramidal, mediante la metodología del indicador Valor Presente Neto y donde se tuvieron en cuenta los costos del fluido de perforación, costos de las mallas y estabilización de los recortes de perforación.

Teniendo los resultados de ambas evaluaciones se determina cuál de las dos mallas es la mejor y la viabilidad que tiene el proyecto.

Palabras clave: Campo Castilla, Cuenca Llanos Orientales, Control Sólidos, Malla Piramidal, Malla Plana.

## INTRODUCCIÓN

Las formaciones del campo catilla presenta gran variedad geológica y estructural, lo cual genera que los equipos primarios de control de sólidos deban adaptarse a los cambios que presenten las operaciones de perforación, ocasionando que se dé la necesidad de implementar mallas con tecnología más avanzada a las mallas convencionales (mallas planas) que se utilizan actualmente en este campo.

Las mallas planas instaladas en las Zarandas Mongoose PT (equipos primarios de control de sólidos) presentan una menor eficiencia para procesar el fluido de perforación que retorna del pozo, se forman taponamientos y obstrucciones en las mallas lo cual genera deficiencia en la remoción de sólidos y recortes de perforación más húmedos. Todo lo anterior da como resultado, la reducción de la vida útil de las mallas, pérdida de fluido de perforación en los cortes y estabilización de los mismos, reduciendo la rentabilidad del proyecto y generando un aumento de costos en la operación.

Con la evaluación técnica y financiera de la implementación de las mallas piramidales en los equipos primarios de control de sólidos para la perforación en el Campo Castilla, se busca demostrar, a través de diferentes pruebas de campo y laboratorio, que con estas mallas se generan óptimos resultados, mejorando las condiciones operativas y se disminuyen costos relacionados a la operación.

La realización de este proyecto, generó una nueva herramienta que brinda soluciones y da como resultado mayor eficiencia en la operación teniendo en cuenta los beneficios técnicos y económicos

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Evaluar técnico y financieramente la implementación de mallas piramidales para el control de sólidos para la perforación de un pozo en la sección 12 ¼" en el Campo Castilla.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Describir las generalidades y geología del Campo Castilla.
2. Describir los equipos de control primario de sólidos, zarandas, mallas planas utilizadas actualmente y las mallas piramidales que serán implementadas, cada una, en la perforación de la sección 12 ¼" en el Campo Castilla.
3. Analizar el comportamiento de las zarandas Moongoose con tecnología de malla plana y el comportamiento de las zarandas Hyperpool con tecnología de malla piramidal, en la perforación de la sección 12 ¼" en el Campo Castilla.
4. Comparar las mallas piramidales de las zarandas Moongoose, teniendo en cuenta los datos obtenidos del campo.
5. Establecer la viabilidad financiera de la implementación de las mallas piramidales con respecto a las mallas planas del Campo Castilla mediante la metodología del Valor Presente Neto (VPN).

## 1. GENERALIDADES DEL CAMPO CASTILLA

El presente capítulo contiene la descripción general de la historia, localización, marco geológico, geología del petróleo e historia de producción del Campo Castilla, donde se desarrolló este proyecto de grado.

### 1.1 HISTORIA DEL CAMPO

En el año 1969 se encuentra petróleo en Castilla La Nueva, por parte de la empresa Chevron, con la perforación el “Pozo Castilla 1” y alcanzó una profundidad de 7347 pies, con unas reservas estimadas en 320 millones de barriles, que provienen de las Formaciones Mirador y Guadalupe, con un crudo de 10 grados API y de la Formación Une con un crudo de 13,7 grados API. El área productiva de este campo es aproximadamente de 11000 acres.<sup>1</sup>

En el año de 1973, se firma por la Empresa Chevron y Ecopetrol, el “Contrato de Asociación Cubarral” con una duración de 25 años. En el año de 1988 Ecopetrol S.A perfora el “Pozo Castilla Norte 1”.<sup>2</sup>

En el mes de agosto del año 2000 la empresa Ecopetrol S.A asume el control de todo el campo, con la finalidad de implementar un esquema rentable de operación, convirtiendo al Campo Castilla en uno de los mejores campos de Colombia.<sup>3</sup>

Debido a la crisis del precio del petróleo que inicio en el año 2014 se paralizó en un 100% las actividades de perforación y exploración. En el mes de noviembre de 2015 el Campo Castilla tuvo un aumento de producción de 17 mil barriles diarios con respecto al año 2014<sup>4</sup>. A inicios del año 2016 con la mejora del precio, se retomaron estas actividades.

Actualmente, en el año 2017, este campo es uno de los productores más importantes de Ecopetrol S.A a nivel nacional.

---

<sup>1</sup> EL TIEMPO. “Castilla y Chichimene pasarán a Ecopetrol”. [En línea] Disponible en: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-1240507>. [citado el 9 de noviembre de 2017]

<sup>2</sup> MOJICA, Rafael. El petróleo en el departamento del Meta 1859 – 2011. En: la actividad petrolera en el siglo xx en el Meta: revista científica Guarracuco, 2011, No. 136 [En Línea]. Disponible en: [https://issuu.com/comunicacionesyprensa/docs/rev\\_15](https://issuu.com/comunicacionesyprensa/docs/rev_15), p 12 [citado el 9 de noviembre de 2017]

<sup>3</sup>ECOPETROL. Castilla recargado. [En Línea]. Disponible en: [http://www.ecopetrol.com.co/especiales/carta\\_petrolera/empresa.htm](http://www.ecopetrol.com.co/especiales/carta_petrolera/empresa.htm) [citado el 9 de noviembre de 2017]

<sup>4</sup>ECOPETROL. Campo de producción Castilla alcanzó nuevo récord de producción. [En Línea]. Disponible en: <http://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/nuestra-empresa/sala-de-prensa/boletines-de-prensa/Boletines%202015/Boletines%202015/campo-produccion-Castilla-alcanzo-nuevo-record-produccion> [citado el 9 de noviembre de 2017]

## 1.2 LOCALIZACIÓN

El Campo Castilla se encuentra ubicado en la República de Colombia, específicamente al Sur Occidente de la Cuenca de los Llanos Orientales, adyacente al piedemonte andino, en el departamento del Meta y la jurisdicción pertenece a los municipios de Acacias y Castilla La Nueva.

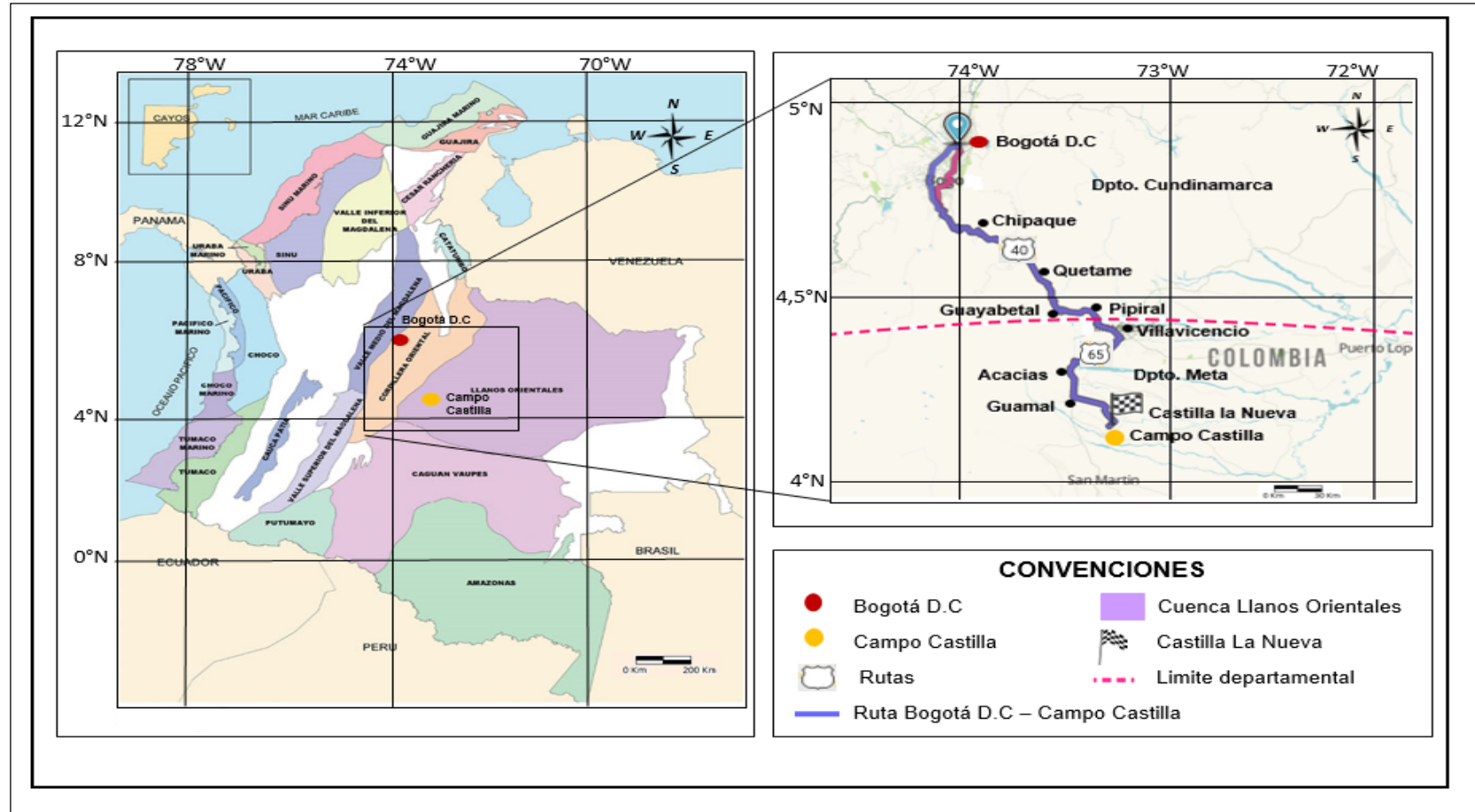
Para acceder al campo desde la ciudad de Bogotá, se toma la ruta 40 Bogotá – Villavicencio, siguiendo el recorrido por los municipios de Chipaque, Quetame, Guayabetal y cruzando el Puente de Pipiral se llega a la ciudad de Villavicencio, se toma la ruta 65 vía Acacias – Guamal, pasando por el municipio de Acacias, hasta llegar al municipio de Guamal y se toma el desvío al Oriente que conduce al municipio de Castilla La Nueva y la entrada principal al Campo Castilla.<sup>5</sup> **Ver figura 1.**

---

<sup>5</sup> Google maps. Ruta Bogota -. Castilla, la Nueva. [En Línea]. Disponible en: <<https://www.google.com.co/maps/dir/Bogot%C3%A1/Castilla+La+Nueva,+Meta/@4.2688994,-74.4557396,9z/data=!3m1!4b1!4m13!4m12!1m5!1m1!1s0x8e3f9bfd2da6cb29:0x239d635520a33914!2m2!1d-74.072092!2d4.7109886!1m5!1m1!1s0x8e3e10d297ffc24b:0x79d4e098446fa1ea!2m2!1d-73.690164!2d3.827834>> [citado el 28 de septiembre de 2017]



**Figura 1** Localización del Campo Castilla.



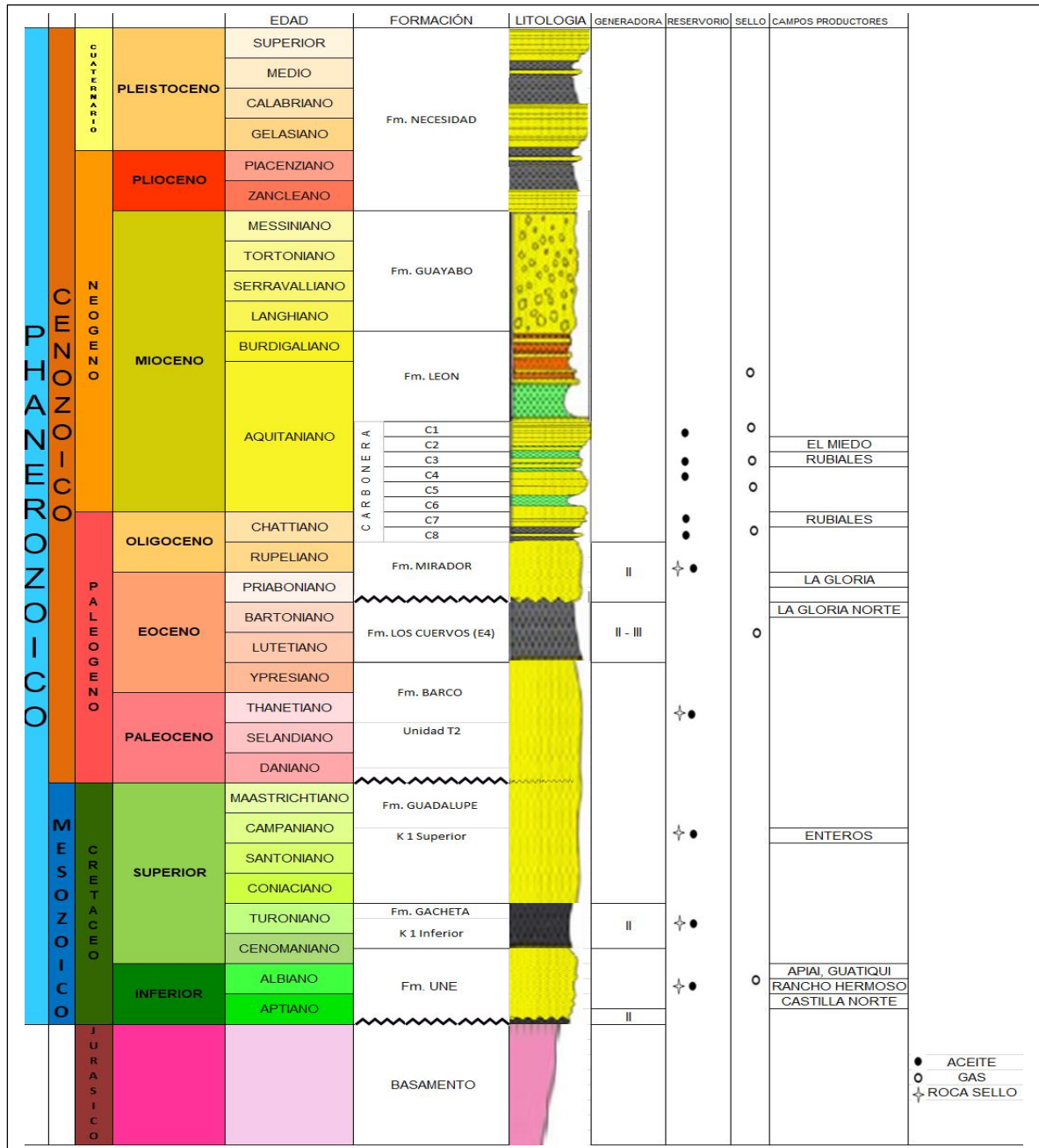
**Fuente.** AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS. Asignación de áreas. 2007. [En Línea]. Disponible en: <http://www.anh.gov.co/Asignacion-de-areas/Procedimientos-de-Seleccion/Procesos%20Anteriores/ronda2007/interna28aa.html?id=95> > [citado el 9 de noviembre de 2017]

### **1.3 MARCO GEOLÓGICO**

A continuación, se describe la estratigrafía, columna estratigráfica y geología estructural de la Cuenca de los Llanos Orientales, así como la geología del petróleo del Campo Castilla.

**1.3.1 Columna estratigráfica.** En la **Figura 2** se puede observar la representación de la columna estratigráfica generalizada de la Cuenca de Los Llanos Orientales.

**Figura 2** Columna estratigráfica generalizada de la Cuenca de los Llanos Orientales



**Fuente.** International Commission on Stratigraphy. International Chronostratigraphic Chart. 2017. Modificada por los autores.

**1.3.2 Estratigrafía.** Se realiza la descripción general en orden geocronológico de las formaciones geológicas de la Cuenca de los Llanos Orientales.

**1.3.2.1 Basamento.** Dataciones radiométricas determinan que el basamento ígneo-metamórfico de los Llanos Orientales es Precámbrico, la edad equivale a unos 1.500 millones de años en Mitú, 1.400 millones en Puerto Carreño y 1.205 millones en Mapiripán. Suprayaciendo las rocas ígneas y metamórficas de alto grado se encuentran esquistos, filitas y pizarras que se correlacionan con el Grupo Quetame. El Basamento aflora bordeando el extremo Oriental y Sur de la Cuenca de Los Llanos, a lo largo de los ríos Orinoco, Guaviare y la Serranía de La Macarena. De igual manera, se encuentra en los Macizos de Garzón, Quetame y Santander en la Cordillera Oriental.<sup>6</sup> Tiene un contacto discordante con la Formación Une.

**1.3.2.2 Formación Une.** La edad de la Formación Une ha sido determinada del Cretaceo entre el Albiano - Cenomaniano por Burgl, H (1957) y Campbell, C (1962)<sup>7</sup> La litología consiste, principalmente, de areniscas cuarzosas con intercalaciones menores de lutitas y de limolitas carbonosas.<sup>8</sup> El espesor promedio es de unos 330 pies y las secciones más gruesas están en las áreas de Arauca y Meta donde tiene hasta 1180 pies. Tiene un contacto discordante con el Basamento que la infrayace y un contacto concordante con la Formación Gacheta que la suprayace. El ambiente de sedimentación es marino somero a estuarino, aunque hacia el Este la base de la formación puede contener depósitos fluviales (valles anastomosados).<sup>9</sup>

---

<sup>6</sup> ANH. Area crudos pesados. [En Línea]. Disponible en: <[http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Estudios-Integrados-y-Modelamientos/Presentaciones%20y%20Poster%20Tcnicos/Informe\\_de\\_Prospectividad.pdf](http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Estudios-Integrados-y-Modelamientos/Presentaciones%20y%20Poster%20Tcnicos/Informe_de_Prospectividad.pdf)>, p. 30. [citado el 12 de noviembre de 2017]

<sup>7</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA INGEOMINAS. Acuerdo Especifico N° 022. 2008. GEOLOGÍA DEL PIEDEMONTES LLANERO EN LA CORDILLERA ORIENTAL, DEPARTAMENTOS DE ARAUCA Y CASANARE. [En Línea]. Disponible en: <[http://aplicaciones1.sgc.gov.co/Bodega/i\\_vector/230/08/0100/24561/documento/pdf/21052456111\\_01000.pdf](http://aplicaciones1.sgc.gov.co/Bodega/i_vector/230/08/0100/24561/documento/pdf/21052456111_01000.pdf)>, p. 24. [citado el 12 de noviembre de 2017]

<sup>8</sup> ANH. Integración Geológica de la Digitalización y Análisis de Núcleos. [En Línea]. Disponible en: <<http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Tesis/5.%20Informe%20Final%20Llanos.pdf>>, p. 48. [citado el 12 de noviembre de 2017]

<sup>9</sup> ANH, área de crudos pesados. Op. Cit., p. 31

**1.3.2.3 Formación Gacheta.** Pertenece al Cretáceo superior, con una edad que comprende entre Cenomaniano – Turoniano, es conocida como Unidad K1 Inferior según Ecopetrol S.A. Litológicamente está constituida por una secuencia de lutitas, de color gris a gris oscuro, con proporciones menores de areniscas y presenta pequeños niveles calcáreos. Esta formación se acuña o no se presenta en el Oriente y Suroriente de la cuenca, el espesor aumenta hacia el Noroccidente y en el sector Suroccidental es de 600 pies aproximadamente. Tiene contacto concordante con la Formación Une que la infrayace y un contacto concordante con la Formación Guadalupe que la suprayace.<sup>10</sup> Presenta una depositación continental fluvial.

**1.3.2.4 Formación Guadalupe.** Es conocida como Unidad K1 Superior, pertenece al Mesozoico, Cretáceo Superior, con una edad entre Coniaciano superior – Maastrichtiano Inferior. Está constituida por una secuencia de areniscas con pequeñas intercalaciones de lutitas y a veces con pequeñas capas de carbón. El espesor máximo encontrado en la Cuenca de los Llanos Orientales es en el pozo La Coral-1 que fue de 600 pies en el sector de Arauca, y al Sur en el área de los pozos Vanguardia-1, Cumaral-1 y Medina-1 con espesores que pasan de los 600 pies. EL contacto con la Formación Gacheta K1 Inferior es concordante con la Formación Gacheta que la infrayace y discordante con la Formación Barco que la suprayace,<sup>11</sup> depositada en un ambiente de depósito litoral de origen deltaico.

**1.3.2.5 Formación Barco.** Es conocido como Unidad T2, pertenece al Paleógeno, entre el Eoceno Inferior y Medio. Está constituida principalmente por arena cuarzosa de grano fino a medio y limolitas café en el tope. En el Campo Castilla tiene un espesor promedio de 180 pies. Tiene un contacto discordante con la Formación Guadalupe que la infrayace y un contacto concordante con la Formación Los Cuervos que la suprayace. Presenta una depositación continental fluvial.

**1.3.2.6 Formación Los Cuervos.** Es conocida como Formación Lutita E4 del Paleógeno por Ecopetrol S.A, entre el Eoceno Medio- Oligoceno Inferior. Esta unidad se compone principalmente de lutitas, de color marrón oscuro, hacia la base, lentes de limolitas gris verdos, con un espesor aproximado de 290 pies. Presenta un contacto concordante con la Formación Barco que la infrayace y un contacto discordante con la Formación Mirador que la suprayace. Presenta un ambiente de depositacion continental fluvial.

---

<sup>10</sup> ANH, Integración Geológica y Análisis de Núcleos. Op. Cit., p. 48

<sup>11</sup> *Ibíd.*, p. 48.

**1.3.2.7 Formación Mirador.** Corresponde al reservorio más importante de hidrocarburo de la Cuenca de los Llanos Orientales. Pertenece al Paleógeno, entre el Eoceno medio - Oligoceno Inferior. Está conformado por un conjunto de areniscas masivas con distintas granulometrías que decrecen de base a techo de la formación, compuesta por cuarzo, algunas veces feldespato y materia orgánica leñosa hacia la parte superior de la formación. Esta formación se acuña hacia el sureste. Normalmente no se logra diferenciar con las areniscas de la base de la Formación Carbonera. El espesor máximo que se ha registrado ha sido en el pozo Floreña-1 de 950 pies. El contacto con la Formación Los Cuervos es discordante con la Formación Los Cuervos que la infrayace y concordante con la Formación Carbonera, Unidad C8 que la suprayace.<sup>12</sup> Presenta un ambiente de deposición marino somero, deltaico y continental.

**1.3.2.8 Formación Carbonera.** Corresponde según Cooper, M.A (1995) al Cenozoico, Paleógeno, entre Mioceno Medio - Oligoceno Inferior. Consiste de una alternación de rocas arcillosas, limosas y de areniscas. Esta secuencia litológica alcanza tener un espesor de 6000 pies. Tiene un contacto concordante con la Formación Mirador que la infrayace y un contacto concordante con la Formación León que la suprayace. El Aquitainense dividió esta Formación en ocho unidades, donde las unidades con números pares representan a las rocas sello y las unidades con números impares, representan a las rocas productoras. El ambiente de deposición es transgresivo y regresivo de corta duración por un mar epicontinental de poca profundidad.<sup>13</sup>

- **Unidad C8 (Unidad E4).** El carácter marino que se presenta en el tope de la Formación Mirador indica un periodo de transgresión cuya continuación es la Unidad C8. El espesor que presenta esta Unidad va desde los 50 pies hasta más o menos 400 pies.<sup>14</sup>
- **Unidad C7 (Unidad T1).** Se compone de areniscas de color crema a parduzco con un tamaño de grano fino a medio, separadas por niveles de arcillolita de color gris a verduzco y pueden alcanzar un espesor de 250 a 280 pies. Fueron depositadas en un ambiente marino somero, deltaico continental.
- **Unidad C6 (Lutita E3).** El máximo espesor que se llegó a encontrar fue en el sector de Cumaral-1 con 600 pies y se reduce rápidamente hasta tener un espesor promedio de 100 a 150 pies.
- **Unidad C5.** Se caracteriza por alternancia de niveles de arcillolita y de areniscas poco consolidadas con un tamaño de grano medio y en ocasiones son ligeramente calcáreas con glauconita, el espesor llega a variar desde 50 hasta 300 pies.

---

<sup>12</sup> Ibíd., p. 49.

<sup>13</sup> Ibíd., p. 50

<sup>14</sup> Ibíd., p. 51.

- **Unidad C4.** Esta es la unidad más compleja de diferenciar, ya que está compuesta por una alternancia rápida de capas de areniscas, limolitas y lutitas, con un espesor máximo registrado en el pozo Guacavia-1 de 1050 pies.
- **Unidad C3.** Está compuesta por alternancia de niveles de areniscas fina a gruesas, blanca a translúcida y algunos pies de limolitas y arcillolitas de color gris verdoso. El espesor va desde los 150 a 700 pies.
- **Unidad C2 (Lutita E).** Está compuesta exclusivamente por lutitas grises y algunas limolitas, el espesor va desde los 100 a 900 pies. Esta Unidad es el sello mejor desarrollado y el de mayor extensión hacia el Este.
- **Unidad C1.** Es la última Unidad de la Formación Carbonera y se encuentra sellada por la Formación León. Esta Unidad está conformada por alternancia de cuerpos arenosos, limolitas oscuras y lutitas grises. El máximo espesor que llega alcanzar es de 2000 pies.

**1.3.2.9 Formación León.** Esta formación pertenece al Neógeno, Mioceno, con una edad que comprende entre Aquitaniano – Burdigaliano. Representa la última invasión de los mares terciarios en la Cuenca, y está compuesta por capas gruesas de lutitas grises en gran parte. El espesor máximo que se encontró fue de 2500 pies en el sector de Chaparral-1. Presenta un contacto concordante con la Formación Carbonera que la infrayace y con la Formación Guayabo que la suprayace. Esta Formación corresponde al sello más joven de la Cuenca de los Llanos Orientales y el ambiente de depositación es un medio marino a marino somero y representa el último pulso transgresivo del mar.<sup>15</sup>

**1.3.2.10 Formación Guayabo.** Esta formación pertenece al Neogeno, Mioceno, con una edad entre Langhiano - Messiniano. Está constituido por una alternancia de arcillolitas de colores grises a pardo rojizo muy solubles y areniscas, de tamaño de grano de finas a muy gruesas, a veces con niveles de conglomerado y hacia el tope presenta niveles carbonosos. El espesor promedio de esta Formación es de 2000 pies aproximadamente. La Formación Guayabo tiene un contacto concordante con la Formación León que la infrayace y con la Formación Necesidad que la suprayace. Presenta una sedimentación continental lacustre.<sup>16</sup>

---

<sup>15</sup> *Ibíd.*, p. 52.

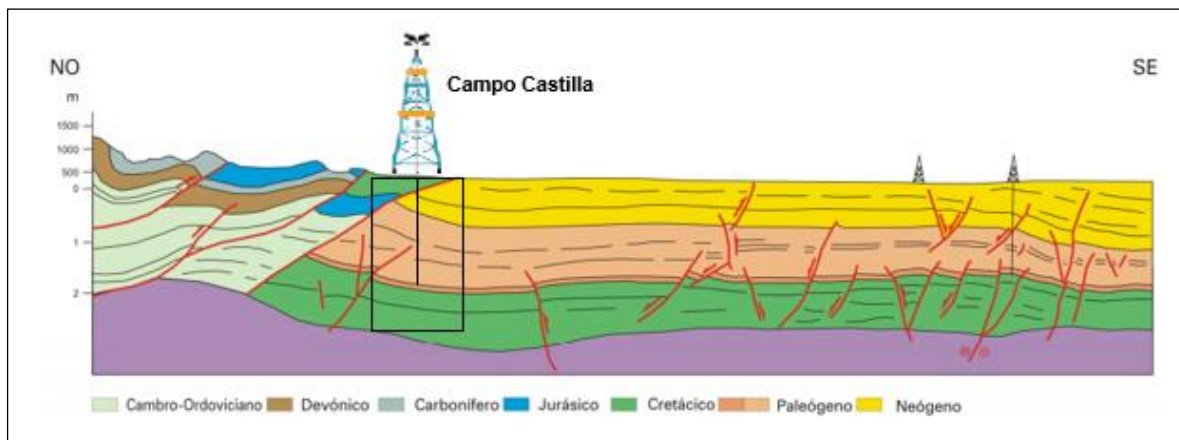
<sup>16</sup> *Ibíd.*, p. 52.

**1.3.2.11 Formación Necesidad.** Esta formación pertenece al Neogeno, Plioceno – Cuaternario, Pleistoceno. Formada por areniscas de grano grueso y arcillolitas de color rojo y azulado con un espesor de aproximadamente de 13.000 pies. La Formación Necesidad tiene contacto concordante con la Formación Guayabo que la infrayace y tiene un ambiente de depositación fluvial.<sup>17</sup>

**1.3.3 Geología estructural.** El Campo Castilla está formado por un anticlinal asimétrico elongado con una orientación NE-SW, con unas dimensiones de 10.000 metros de largo por 4.000 metros de ancho aproximadamente, interactúan rasgos estructurales regionales como el sistema de Fallas de Algeciras y la Falla de Villavicencio. **Ver figura 3.**

Las fallas del campo son normales e inversas, en la parte Oriental se interpretan dos eventos tectónicos afectando las rocas, el primer evento afecta las rocas del Pre-cretácico hasta las del Terciario temprano, se caracteriza por fallas de tipo normal con saltos menores a 100 pies, el segundo evento se caracteriza por fallas inversas producto del levantamiento de la Cordillera Oriental en el periodo Terciario, este evento afecta toda la secuencia sedimentaria.

**Figura 3** Corte esquemático de la Cuenca Llanos Orientales, en el sector adyacente a la Cordillera Oriental



**Fuente.** MOJICA, Jairo. AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS. Cuencas Catatumbo, Cesar – Ranchería, Cordillera Oriental, Llanos Orientales, Valle Medio y Superior del Oriental, Llanos Orientales, Valle Medio y Superior del Magdalena. 2010. [diapositiva]. 2009. Diapositiva. 33

<sup>17</sup> J. DE PORTA, Amérique Latine Colombie, volumen 5, Paris 1974, p. 380



**1.3.4 Geología del petróleo.** A continuación, se describe la roca generadora, roca reservorio, roca sello, migración y trampa, relacionadas con la Cuenca de los Llanos Orientales y el Campo Castilla.

**1.3.4.1 Roca generadora principal.** Formación Gachetá. Lutitas contenidas en la documentada Formación Gachetá del Cretácico Superior, es considerada como la roca generadora principal, fue depositada bajo condiciones anóxicas durante una transgresión marina sobre una amplia plataforma abierta durante el Cretácico Tardío; en su mayoría contiene calizas de grano fino intercaladas con margas con una variable aporte de material terrestre, generalmente asociado con un espesor, de un rango promedio de 755 pies y un máximo espesor de 2.100 pies (Pérez Téllez, 1995). La litología (principalmente shale) en la zona axial y en la porción Oriental del prisma generativo está asociada con un excelente Kerógeno tipo II, rico en hidrógeno. El contenido de carbono orgánico (TOC) generalmente varía entre 1.5 y 3.0 WT%, con un promedio de 2.2 WT%; la materia orgánica contenida en la roca generadora es principalmente no estructurada del tipo amorfo con partículas menores de vitrinita. El índice de hidrógeno (HI) de las muestras inmaduras tiene un máximo de 200 mg HC/g TOC, el cual se aumenta con el incremento de la madurez térmica a valores cercanos de 400 mg HC / g TOC, lo que evidencia que estas rocas son generadoras de aceite.

**Roca generadora secundaria.** Lutitas ricas en materia orgánica y buen grado de maduración termal contenidas en las Formaciones terciarias Los Cuervos, Mirador y Carbonera (C8), localmente y hacia sectores del Piedemonte Oriental de la Cordillera Oriental, caracterizadas en áreas de los Campos Cusiana - Cupiagua, se consideran como la roca madre secundaria.<sup>18</sup>

**1.3.4.2 Roca reservorio.** Las rocas reservorios presentan un rango desde el Cretáceo Medio hasta el Mioceno tardío asociadas al sistema petrolero de Gachetá–Cretácico-Terciario; las unidades de arenas que incluyen las formaciones Une, Gachetá, Guadalupe, Mirador y los miembros C7, C5, C3, C1 de la Formación Carbonera son las rocas reservorios del área. Las principales rocas reservorios que contienen el mayor porcentaje de hidrocarburos pesados en el área de los Llanos son la Formación Une (Cretáceo) y el Miembro C7 de la Formación Carbonera (Terciario) con un 57% y 24.5% respectivamente de las reservas de petróleo conocidas. Las Formaciones Mirador, Gachetá y Guadalupe contienen el 11%, el 4% y el 3% respectivamente.<sup>19</sup> Para el Campo Castilla las rocas reservorio se encuentran en la Unidad K1 y K2 de la Formación Guadalupe y la Unidad T2 de la Formación Mirador.

---

<sup>18</sup> ANH, Área de Crudos Pesados Op. Cit., p. 34

<sup>19</sup> *Ibíd.*, p. 34

**1.3.4.3 Roca sello.** Para la totalidad de la Cuenca, la sección de arcillolitas de la Formación León se considera el sello regional para el sistema petrolífero Gachetá. En la sección cretácica, la Unidad de Shale de la Formación Gachetá es un sello efectivo para el sistema petrolero Gachetá-Une, que incluye el 57% de las reservas de hidrocarburos pesados (395 MMBO P-10). Puesto que la Formación Gachetá es la roca generadora de este hidrocarburo, la litología ejerce una doble función como roca generadora y como roca sello. El segundo sello regional lo constituye la secuencia de arcillolitas intraformacionales de los miembros C-8 y C-6 de la Formación Carbonera que contiene el 35% del volumen de hidrocarburos pesados almacenados en los yacimientos de las Formaciones Mirador y Carbonera C-7.<sup>20</sup>

**1.3.4.4 Migración.** Dos pulsos de migración han sido documentados: el primero durante el Eoceno superior-Oligoceno y el segundo comenzó en el Mioceno y continúa en la actualidad.<sup>21</sup>

**1.3.4.5 Trampa.** Hasta el momento, la exploración se ha concentrado en las fallas normales antitéticas. Sin embargo, los anticlinales asociados a fallas inversas y estructuras de bajo relieve, así como las trampas estratigráficas pueden representar un importante objetivo exploratorio. El Campo Castilla, está conformado por una trampa estructural, generada por un anticlinal fallado en su flanco Oriental.<sup>22</sup>

## 1.4 HISTORIA DE PRODUCCIÓN DEL CAMPO

En 1975 Chevron obtuvo el contrato de asociación para iniciar la explotación del Campo Castilla, este contrato duro 25 años y durante ese tiempo extrajeron 94 millones de barriles con una producción aproximada de 20.000 barriles por día.

En el año 2000 finalizó el contrato con Chevron asumiendo Ecopetrol S.A el control de este campo, y logro aumentar la producción de crudo en 21200 barriles por día.<sup>23</sup> Para el año 2004 Ecopetrol perforó 12 nuevos pozos para el Campo Castilla la Nueva con una expectativa de producción de 82.000 BPD.<sup>24</sup> En el año 2005 se da una producción promedio de 45143 BPD, donde se observa un incremento de la producción de un 37% en el Campo Castilla.<sup>25</sup>

---

<sup>20</sup> *Ibíd.*, p. 35

<sup>21</sup> ANH. COLOMBIA: The Perfect Environment. [En línea]. Disponible en: <<http://ronda2010.anh.gov.co/region.php?id=5&dec=51>>. [Citado 9 de noviembre de 2017]

<sup>22</sup> *Ibíd.*, p. 1

<sup>23</sup> ECOPETROL, Op. Cit., p. 1

<sup>24</sup> EL TIEMPO. Ecopetrol perforará 12 pozos en el Campo de Castilla la Nueva, en el meta. [En línea]. Disponible en: < <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-1519991>>. [Citado 9 de noviembre de 2017]

<sup>25</sup> ASOCIACIÓN COLOMBIANA DEL PETRÓLEO. Informe estadístico petrolero. Hoja Prod x campo bpdc [en línea]. Disponible en: < <https://www.acp.com.co/index.php/es/publicaciones-e-informes/informe-estadistico-petrolero-iep> > [Citado 9 de noviembre de 2017].

Para el año 2007 La cuenca de los Llanos tiene una producción acumulada de crudos pesados de unos 429 MMBls (millones de barriles) y una producción diaria de 103,000 BPPD, donde el Campo Castilla se destaca por ser el mayor productor de crudo pesado en la Cuenca de los llanos orientales con una producción acumulada de 148, 361,492 barriles.<sup>26</sup> **Ver figura 4.**

**Figura 4** Producción acumulada y producción diaria de los campos de la Cuenca de Los Llanos Orientales

CAMPO	ACUMULADO Barriles	PROMEDIO MES AGOSTO 2007 BPPD
Apiay	71,316,803	6490
Apiay Este	2,410,420	549
Campo Rico	2,082,146	1,407
Castilla	148,361,492	20,504
Castilla Este	2,892,929	804
Castilla Norte	39,169,562	35,886
Chichimene	40,030,777	5,800
Enterrios	972,844	1,187
Estero (Paloblanco)	2,391,210	280
Gaván	1,382,555	547
Guatiquía	15,873,385	2,123
La Gloria	27,339,139	1,795
La Gloria Norte	15,833,112	490
Pirito	531,212	131
Rubiales	14,493,024	21,535
Santiago	43,407,546	2,756
Vigía	526,528	669
<b>TOTALES</b>	<b>429.014.864</b>	<b>102.953</b>

**Fuente.** AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS. Área de crudos pesados. Informe de Prospectividad. 2008. [en línea]. Disponible en: <[http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Estudios-Integrados-y-Modelamientos/Presentaciones%20y%20Poster%20Tcnicos/Informe\\_de\\_Prospectividad.pdf](http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Estudios-Integrados-y-Modelamientos/Presentaciones%20y%20Poster%20Tcnicos/Informe_de_Prospectividad.pdf)> p. 39. [Citado 9 de noviembre de 2017].

Desde el momento que Ecopetrol S.A asume el control del Campo Castilla hasta el 2010, este aumenta su producción alcanzando 100.043 BOPD, posicionando al campo a nivel nacional como el mayor campo productor de Ecopetrol S.<sup>27</sup>

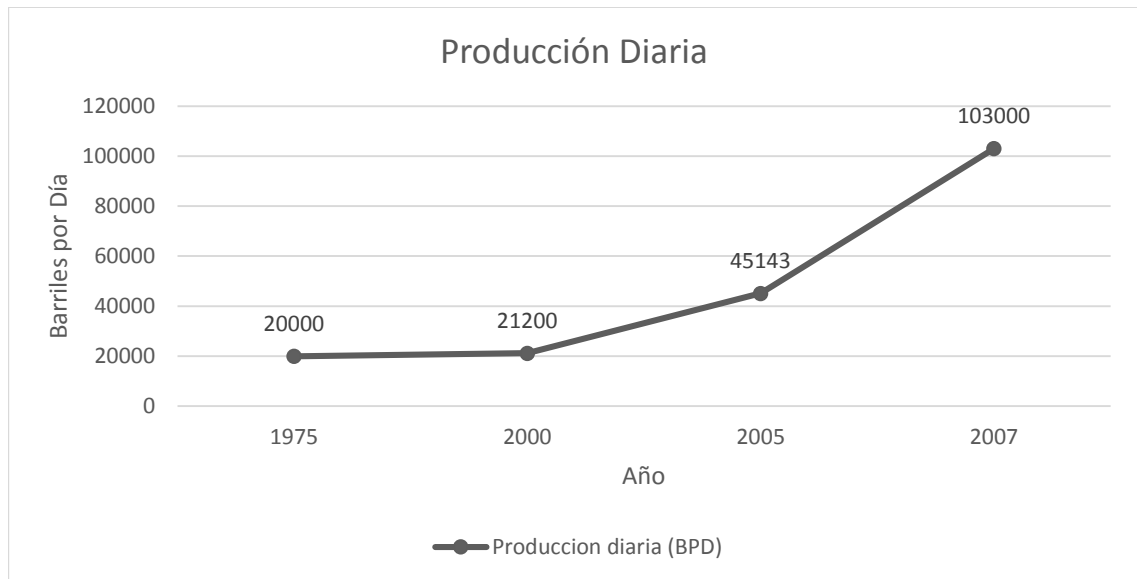
En el año 2015 hubo un aumento de 17000 barriles por día con respecto al año 2014 ratificando la importancia para Ecopetrol S.A, donde en el año 2015 aportaba alrededor de 12% de la producción del país y el 21% de la producción directa de Ecopetrol S.A. La producción en el año 2015 fue de 125.699 barriles por día. Actualmente la producción del campo está en 114.000 BOPD, con el objetivo de optimizar y tener un mejor recobro contando con 500 pozos y se mantiene en la posición a nivel nacional como el mayor campo productor de Ecopetrol S.A. con un

<sup>26</sup> ANH, Área de Crudos Pesados Op. Cit., p. 39

<sup>27</sup>DINERO. Campo Castilla alcanzó producción récord de 100.403 barriles diarios. [En línea]. Disponible en: <<http://www.dinero.com/negocios/articulo/campo-castilla-alcanzo-produccion-record-100043-barriles-diarios/97641>>. [Citado 9 de noviembre de 2017].

aporte del 12% de la producción del país y el 21% de la producción directa de Ecopetrol.<sup>28</sup> **Ver gráfica 1**

**Grafica 1.** Producción Diaria



**Fuente.** AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS. Área de crudos pesados. Informe de Prospectividad. 2008. [en línea]. Disponible en: <[http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Estudios-Integrados-y-Modelamientos/Presentaciones%20y%20Poster%20Tcnicos/Informe\\_de\\_Prospectividad.pdf](http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Estudios-Integrados-y-Modelamientos/Presentaciones%20y%20Poster%20Tcnicos/Informe_de_Prospectividad.pdf)> p. 39. [Citado 9 de noviembre de 2017]. Modificada por los autores.

**1.4.1 Método de producción.** El Campo Castilla es un yacimiento de aceite negro subsaturado, con una gravedad API promedio entre 12.5° y 18°, el mecanismo de producción es el empuje por agua, soportado por un acuífero activo de gran tamaño que ofrece como ventaja la explotación del campo en altas temperaturas de fondo y manteniendo la presión estática del yacimiento.

**1.4.2 Tiempo de producción.** En el año 1975, bajo el contrato de asociación entre Chevron y Ecopetrol, se inicia la producción en el Campo Castilla; en el año 2000 la empresa Ecopetrol S.A asume el control de todo el campo y actualmente continúa al mando, completando un total de 41 años de producción del Campo Castilla.

---

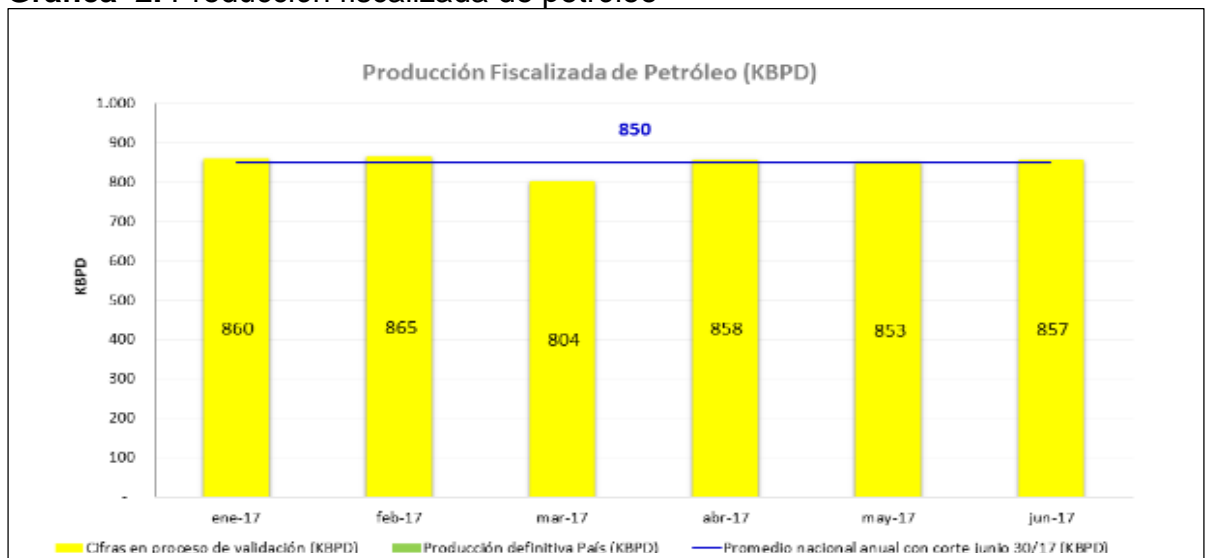
<sup>28</sup> ECOPETROL, Op. Cit., p. 1

**1.4.3 Número de pozos.** Comprende 500 pozos productores de 120 mil barriles por día que salen de tres estaciones:

- Estación Castilla uno
- Estación Castilla dos
- Estación Acacias: Recibe el fluido de la zona norte del yacimiento construida directamente por Ecopetrol.<sup>29</sup>

**1.4.4 Producción acumulada.** En Colombia, La producción diaria estimada promedio mensual de petróleo con corte a 30 de junio de 2017 fue de 857 KBPD con una producción anual de crudo de: 850 KBPD.<sup>30</sup> **Ver grafica 2.**

**Grafica 2.** Producción fiscalizada de petróleo



**Fuente.** AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS. Sistema integrado de operaciones. Estadísticas de producción. 2017. [En Línea]. Disponible en: <<http://www.anh.gov.co/Operaciones-Regalias-y-Participaciones/Sistema-Integrado-de-Operaciones/Paginas/Estadisticas-de-Produccion.aspx>>. [Citado 19 de noviembre de 2017]

En el siguiente cuadro se observa la producción acumulada de crudo del Campo Castilla comprendida en los meses de enero a junio del año 2017. **Ver figura 5**

<sup>29</sup>INDUPETROL. Campo Castilla. [En Línea]. Disponible en: <<http://200.116.42.67/blogsuts/indupetrolcolombia/files/2014/05/CAMPO-CASTILLA-1.pdf>>, p.4 [Citado 13 de noviembre de 2017].

<sup>30</sup> ANH. Sistema Integrado de Operaciones. Estadísticas de producción. [En línea]. Disponible en: <<http://www.anh.gov.co/Operaciones-Regalias-y-Participaciones/Sistema-Integrado-de-Operaciones/Paginas/Estadisticas-de-Produccion.aspx>>. [Citado 19 de noviembre de 2017]

**Figura 5** Producción mensual de crudo Campo Castilla

Departamento	Municipio	Operadora	Contrato	Campo	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
META	CASTILLA NUEVA	ECOPETROL S.A.	CUBARRAL	CASTILLA	-	-	-	-	72.433	71.216
META	CASTILLA NUEVA	ECOPETROL S.A.	CUBARRAL	CASTILLA	75.880	76.070	74.167	74.477	-	-
META	CASTILLA NUEVA	ECOPETROL S.A.	CUBARRAL	CASTILLA ESTE	164	329	282	285	303	331

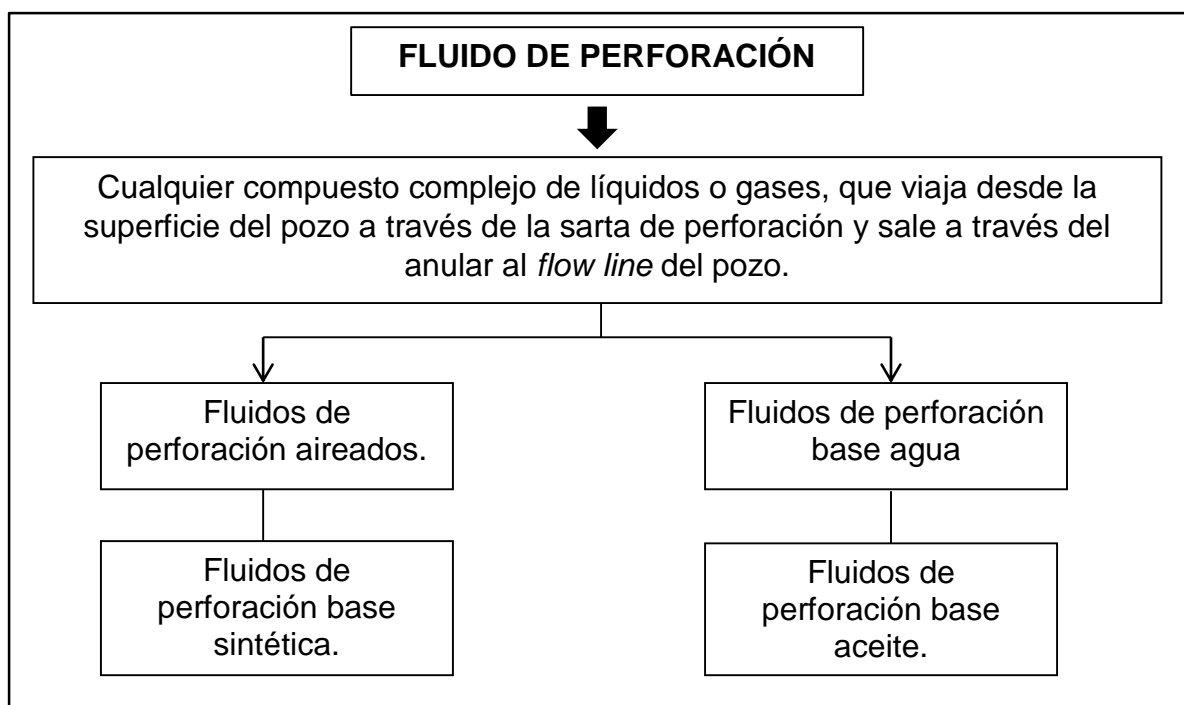
**Fuente.** AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS. Sistema integrado de operaciones. Estadísticas de producción. 2017. Modificada por los autores.



El sistema de circulación del fluido de perforación, inicia en los tanques de succión, donde tiene una línea que lo conecta con las bombas (Triplex) del fluido de perforación, que, a través de potencia hidráulica, brindan la presión necesaria para circular por medio del *stand pipe*, cuello de ganso y *swivel*, hasta la sarta de perforación y expulsado por las boquillas de la broca. El fluido de perforación del pozo retorna a superficie a través del anular y viaja por el *flow line*, hasta llegar a los equipos de control de sólidos, para el manejo de los cortes de perforación.

El fluido de perforación se debe preparar de acuerdo a las características del pozo, para ello, existen diferentes tipos de fluido. **Ver figura 7.**

**Figura 7.** Fluido de Perforación



Los fluidos de perforación son formulados para llevar a cabo una amplia variedad de funciones en una operación de perforación. Las funciones de los fluidos de perforación son las siguientes:

- Transmitir potencia hidráulica a la broca y herramientas para limpiar el fondo del pozo. Para una limpieza del pozo efectiva se debe tener en cuenta alto caudal de perforación, una ROP controlada, RPM alta, yield point suficiente, una velocidad anular alta, entre otras.
- Remover y transportar los cortes perforados desde el fondo del hueco a superficie.



- Mantener los cortes en suspensión cuando es detenida la circulación.
- Permitir la remoción de los cortes de perforación por el sistema de superficie.
- Mantener la estabilidad del hueco.
- Controlar las presiones de la formación.
- Enfriar y lubricar la broca y sarta de perforación.
- Ayuda a soportar el peso de la sarta de perforación y revestimiento.
- Permitir la obtención de información adecuada en la evaluación del pozo.
- Proteger y soportar las paredes del pozo.
- Minimizar los daños de la formación.
- Minimizar el impacto sobre el medio ambiente, donde se dispone de los cortes de perforación para realizar, de acuerdo a las características del fluido, tratamiento físico, químico, biológico, térmicos, entre otros y se disponen para almacenamiento, transporte, reutilización y reciclaje.
- Prevenir la corrosión de la tubería de perforación y revestimiento.
- Reducir las pérdidas de filtrado en formaciones permeables.
- Evitar la expansión de las arcillas con alto poder de encapsulación.
- Incrementar la velocidad de penetración.
- Facilitar las operaciones de cementación y completamiento del pozo.<sup>32</sup>

Para el cumplimiento de las funciones, los fluidos de perforación tienen propiedades físico-químicas que son las características que debe reunir un fluido de perforación, como condicionales para obtener los parámetros físicos-químicos óptimos a fin de alcanzar el objetivo de perforación del pozo.

- Densidad: se define como la cantidad de masa que se encuentra en cierta cantidad de volumen, es la propiedad del fluido que cumple como función principal mantener los fluidos de formación en esta. La densidad del fluido genera la presión

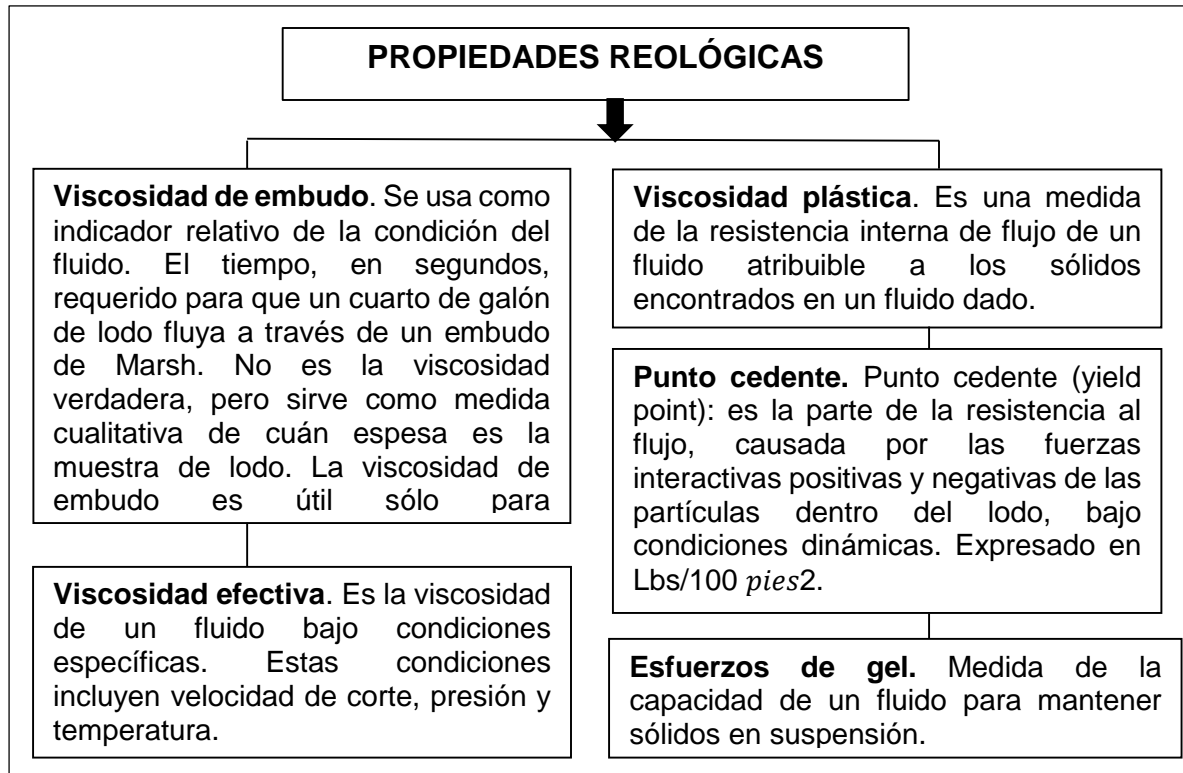
---

<sup>32</sup> *Ibíd.*, p. 34

hidrostática que se encarga de generar cierta carga contra las paredes del pozo para que no exista una mezcla de fluidos.

- **Propiedades reológicas:** son aquellas que estudian y analizan la deformación y el flujo de la materia, lo cual permite determinar el comportamiento del fluido. **Ver figura 8.**

**Figura 8.** Propiedades Reológicas



**Fuente.** D. Leguizamo Ochoa, *MANUAL DE ENTRENAMIENTO BÁSICO PARA EL SISTEMA DE CONTROL DE SÓLIDOS*, Primera edición. Bogota D.C, Colombia; Solids Control School, 2015. Modificada por los autores.

Es muy importante la medición de las propiedades reológicas del fluido de perforación, debido a que permite:

- Calcular las pérdidas de presión por fricción.
- Determinan la capacidad que tiene un fluido de perforación para sacar los cortes hasta superficie.
- Analizar la contaminación del fluido de perforación por los sólidos, sustancias químicas o temperatura.

- Determinar los cambios de presión en el interior del pozo durante la perforación.
- Analizar el grado de viscosidad derivada del volumen de sólidos en el fluido de perforación.<sup>33</sup>

## 2.2 SÓLIDOS EN EL FLUIDO DE PERFORACIÓN

Los sólidos en el fluido de perforación son todas aquellas partículas que al momento de la perforación se desprenden de la formación y productos químicos que son adicionados en la preparación del fluido de perforación para cumpla sus funciones operacionales.<sup>34</sup>

Los sólidos en los fluidos de perforación pueden ser clasificados de acuerdo con los siguientes parámetros y reportes diarios de operaciones:

**2.2.1 Clasificación según la fuente.** Los sólidos en el fluido de perforación según la fuente, está compuesta de dos tipos básicos:

- **Sólidos comerciales:** todos los materiales de sólidos comerciales son suministrados por las compañías de fluidos de perforación y adicionados al sistema para obtener y optimizar los parámetros programados para cumplir eficientemente las funciones a desempeñar. Cada categoría es agregada, con el fin de generar un efecto específico.
- **Sólidos perforados:** son el resultado de las acciones de corte y trituración de la broca. Contaminantes que reducen la eficiencia en el rendimiento del fluido de perforación. Es extremadamente importante remover la mayoría de estos sólidos en la primera circulación para acondicionar el fluido de perforación. Los más grandes se van degradando en partículas más finas cuando el fluido recorre el sistema de circulación y bastante difícil de retirarlas, es por eso que incrementa la viscosidad plástica.<sup>35</sup>

**2.2.2 Clasificación según la gravedad específica.** Los sólidos en el fluido de perforación, dependiendo su gravedad específica se clasifican de la siguiente manera.

---

<sup>33</sup> *Ibíd.*, p. 46

<sup>34</sup> *Ibíd.*, p. 59

<sup>35</sup> *Ibíd.*, p. 59

- **Sólidos por alta gravedad específica:** son las partículas de  $\gamma > 4,2$ ; adicionadas a un fluido de perforación particularmente para incrementar su densidad. (HSG: *High Gravity Solids*). **Ver tabla 1.**
- **Sólidos de baja gravedad específica:** son las partículas que están en el rango de  $\gamma = 1,1$  a  $2,9$ ; sin embargo, la gravedad específica promedio de estos sólidos es considerada en  $2,6$ . (LGS: *Low Gravity Solids*). **Ver tabla 1.**<sup>36</sup>

**Tabla 1** Clasificación Gravedad Específica

MATERIAL	GRAVEDAD ESPECÍFICA	CLASIFICACIÓN
Montmorillonita	2,0-3,0	BAJA
Sal	2,16-2,17	BAJA
Arena	2,1-2,7	BAJA
Lutita	2,2-2,9	BAJA
Bentonita	2,3-2,7	BAJA
Sólidos Perforados	2,5-2,7	BAJA
Carbonato De Calcio	2,6-2,8	BAJA
Caliza	2,7-2,9	BAJA
Dolomita	2,8-2,9	BAJA
Barita	4,0-4,5	ALTA
Hematita	5,0-5,3	ALTA
Galena	6,5-6,95	ALTA

**Fuente.** D. Leguizamo Ochoa, *MANUAL DE ENTRENAMIENTO BÁSICO PARA EL SISTEMA DE CONTROL DE SÓLIDOS*, Primera edición. Bogota D.C, Colombia; Solids Control School, 2015.

**2.2.3 Clasificación según el tamaño de partícula.** El tamaño de partícula es referido a su diámetro. Debido a la dimensión tan pequeña de los sólidos en el sistema del fluido de perforación; la unidad de medición, generalmente es el micrón ( $\mu$ ). **Ver tabla 2.**<sup>37</sup>

<sup>36</sup> *Ibíd.*, p. 60

<sup>37</sup> *Ibíd.*, p. 60

**Tabla 2** Clasificación Tamaño de Partícula

CLASIFICACIÓN DE LA PARTÍCULA	TAMAÑO DE LA PARTÍCULA	TÉRMINOS COMUNES
Ordinario	Mayor de 2.000	Sólidos perforados grandes (Cortes)
Intermedio	250-2.000	Arena
Medio	74-250	Arena fina-limo
Fino	44-74	Limo
Ultrafino	2-44	Limo
Coloidal	0-2	Arcilla

**Fuente.** D. Leguizamo Ochoa, *MANUAL DE ENTRENAMIENTO BÁSICO PARA EL SISTEMA DE CONTROL DE SÓLIDOS*, Primera edición. Bogota D.C, Colombia; Solids Control School, 2015.

**2.2.4 Clasificación según la actividad eléctrica.** La clasificación según la actividad eléctrica, la determina las partículas que componen los sólidos del fluido de perforación, y se encuentran clasificadas de la siguiente manera:

- **Sólidos inertes o no reactivos:** se dividen en sólidos inertes deseables que comprenden las partículas no reactivas de alta gravedad específica que sirven para darle densidad al fluido de perforación, como la barita. También los materiales de pérdida de circulación. Y los sólidos inertes indeseables que son las partículas perforadas de baja gravedad específica; como arena, sílice, dolomita, caliza, etc. **Ver cuadro 1.**<sup>38</sup>

**Cuadro 1** Clasificación Actividad Eléctrica.

DESEABLES	INDESEABLES
Barita	Sólidos perforados
Hematita	
Carbonato de Calcio	
Cascarillas, Fibras, etc	

**Fuente.** D. Leguizamo Ochoa, *MANUAL DE ENTRENAMIENTO BÁSICO PARA EL SISTEMA DE CONTROL DE SÓLIDOS*, Primera edición. Bogota D.C, Colombia; Solids Control School, 2015.

- **Sólidos reactivos:** partículas arcillosas que alcanzan el tamaño coloidal cuando están totalmente hidratadas y son las únicas que forman revoques lisos, delgados, flexibles y de baja permeabilidad que facilitan el control de filtrado. **Ver cuadro 2.**<sup>39</sup>

<sup>38</sup> *Ibíd.*, p. 61

<sup>39</sup> *Ibíd.*, p. 61

## Cuadro 2 Clasificación Actividad Eléctrica

SÓLIDOS INERTES O NO REACTIVOS	SÓLIDOS REACTIVOS
Arenisca	Bentonita
Limo	Arcillas
Granito	Gumbo

**Fuente.** D. Leguizamo Ochoa, *MANUAL DE ENTRENAMIENTO BÁSICO PARA EL SISTEMA DE CONTROL DE SÓLIDOS*, Primera edición. Bogotá D.C, Colombia; Solids Control School, 2015.

**2.2.5 Clasificación según los resultados de la prueba de retorta.** Las partículas de retorta incluyen los siguientes sólidos suspendidos:

- Sólidos suspendidos.
- Sólidos disueltos (sales).
- Los materiales orgánicos carbonizados.
- Para realizar los cálculos se asume las partículas de retorta como los sólidos suspendidos y disueltos.<sup>40</sup>

**2.2.6 Clasificación Según el reporte diario de operaciones de sólidos.** Los tipos de cortes de perforación estipulados en el reporte diario de operaciones de control de sólidos son:

- Cortes húmedos teóricos.
- Cortes húmedos reales.
- Cortes descargados por las centrifugas decantadoras del sistema activo.
- Cortes descargados por las centrifugas decantadoras del sistema de *dewatering*.
- Cortes generados por otras fuentes.

## 2.3 CONTROL DE SÓLIDOS

El control de sólidos es la función más importante en el acondicionamiento de un fluido de perforación.

Es una función preventiva (mecanismos de control de sólidos), que consiste en regular la acumulación de sólidos indeseables y contaminantes, en el sistema de circulación del fluido de perforación. **Ver figura 9.**

---

<sup>40</sup> *Ibíd.*, p. 61

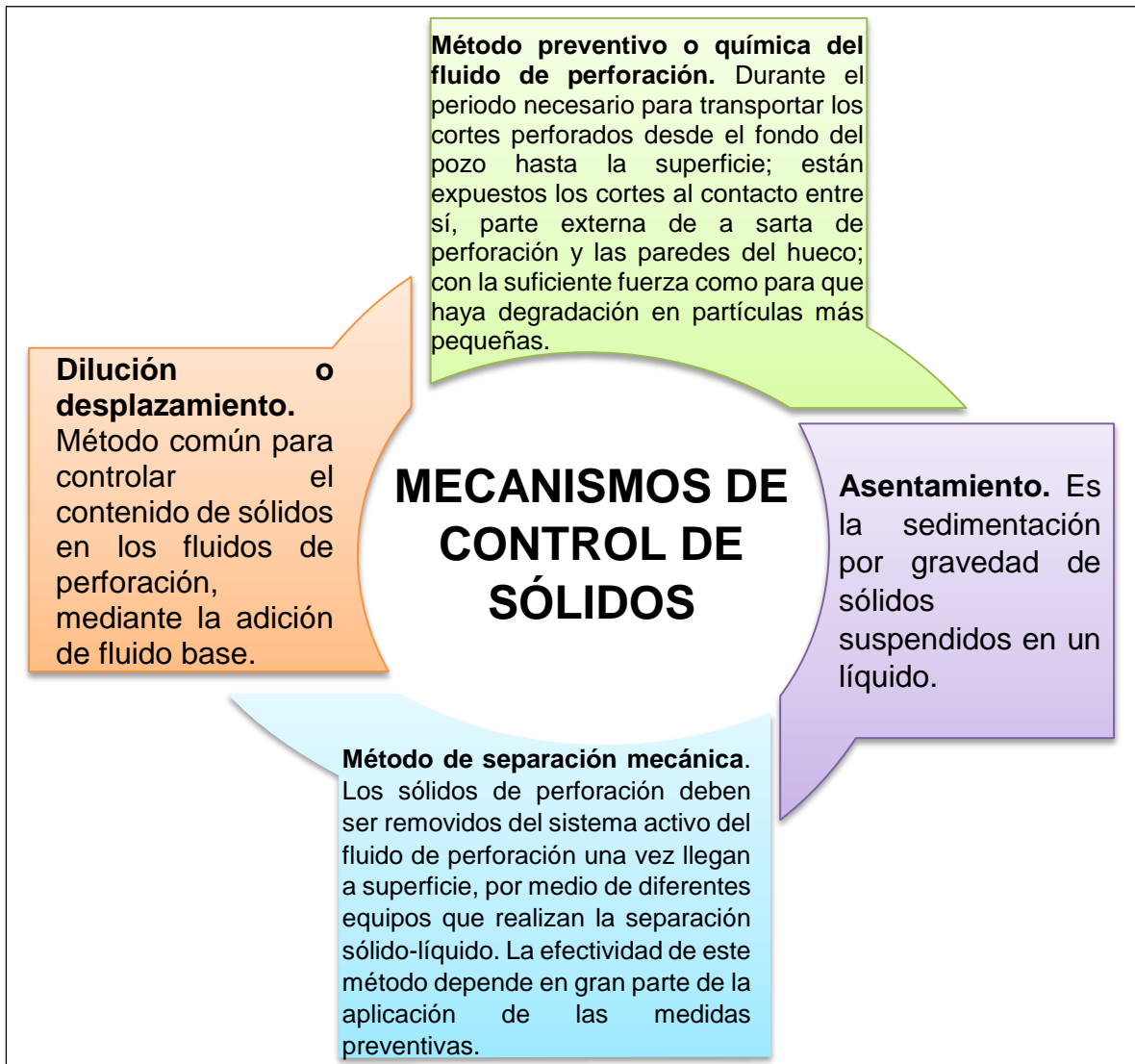
Los principales objetivos que debe cumplir el sistema de control de sólidos son:

- Mantener los sólidos comerciales para cumplir su propósito específico en el sistema el fluido de perforación.
- Recuperar aditivos costosos usados en la preparación y mantenimiento del fluido de perforación, para luego regresarlos al sistema activo.
- Reducir los requerimientos de dilución y adición de productos químicos, manteniendo las propiedades fisicoquímicas y geológicas del fluido de perforación dentro de los rangos óptimos para un buen desarrollo de la perforación.
- Disminuir los gastos de preparación y mantenimiento del fluido de perforación, disposición de desechos líquidos y sólidos, además los costos generales del pozo.
- Conserva las propiedades fisicoquímicas y reológicas del fluido de perforación, de esta forma controlar los parámetros y problemas de la perforación.
- Evitar daños en los equipos y elementos del sistema de circulación, generados por los sólidos presentes en el fluido de perforación.
- Optimizar la ROP.
- Reducir las posibilidades de pega de tubería.
- Reducir posibilidad de pérdidas de circulación.
- Optimizar el tratamiento frente al medio ambiente.
- Disminuir los desechos generados en la perforación para poder disponerlos en una forma ambientalmente segura.<sup>41</sup>

---

<sup>41</sup> Ibíd., p. 9

**Figura 9.** Mecanismos de Control de Sólidos



**Fuente.** D. Leguizamo Ochoa, *MANUAL DE ENTRENAMIENTO BÁSICO PARA EL SISTEMA DE CONTROL DE SÓLIDOS*, Primera edición. Bogota D.C, Colombia; Solids Control School, 2015. Modificada por los autores.

El control de sólidos es un conjunto de operaciones necesarias que permiten acondicionar el fluido de perforación para que siga circulando en el pozo, trayendo consigo beneficios tales como:

- Aumenta la tasa de penetración (ROP).
- Incremento de la vida útil de la broca.
- Mejoramiento de la eficiencia de las bombas.
- Disminución de las presiones de circulación.



- Minimización de los atascamientos diferenciales de tuberías.
- Estabilización de la pared del pozo.
- Mejores trabajos de cementación.
- Mejor interpretación de los registros eléctricos.
- Menores problemas de torque y arrastre.
- Mejor control reológico del fluido.
- Disminución de los costos operacionales.
- Menos daño a la formación.
- Incremento de la productividad del pozo.<sup>42</sup>

## 2.4 EQUIPOS DE CONTROL DE SÓLIDOS

El sistema de control de sólidos se compone de diferentes equipos que deben ser instalados en una secuencia correcta para hacer un trabajo eficiente en la remoción de sólidos en el fluido de perforación utilizado en la operación.

La secuencia de instalación de los equipos debe seguir un orden, el cual lo determina el tamaño de grano, la instalación comienza por equipos que remueven sólidos de mayor tamaño y finaliza con equipos que remueven menor tamaño de sólidos. **Ver figura 10.**

A continuación, se explican brevemente y en orden de instalación los respectivos equipos que hacen parte del sistema de control de sólidos.

**2.4.1 Zaranda vibratoria.** Este trabajo de grado se basa específicamente en este equipo de control de sólidos y su explicación general se encuentra en el numeral 2.6 de este trabajo de grado.

**2.4.2 Limpiador de lodo (*mud cleaner*) o 3 en 1.** Es un equipo de control de sólidos que se compone de los siguientes elementos:

- **Desarenador o *desander*:** es un equipo de control de sólidos encargado de remover arena API (alta porción de partículas de 44 a 74 $\mu$ ) del fluido de perforación.<sup>43</sup>

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.

---

<sup>42</sup> PORTLLO, Javier. Fundamentos del Control de Sólidos. [diapositivas]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/javierportillo100/curso-de-control-de-slidos>. [Citado 15 de septiembre de 2017]. Diapositiva. 6.

<sup>43</sup> LEGUIZAMO, Op. Cit., p. 163

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>44</sup>

- **Desarcillador o *desilter*:** es un equipo de control de sólidos encargado de remover limo y arena fina API (alta porción de partículas de 15 a 35  $\mu$ ) del fluido de perforación.

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 $\mu$ . Un desarcillador de 10 conos de 4" procesa aproximadamente 500 gal/min, y está en capacidad de manejar el 150% del volumen total.<sup>45</sup>

- **Zaranda de malla fina:** recibe los recortes húmedos provenientes del *desander* y *desilter*, removiendo, las partículas del fluido de perforación, que queda remanente.

**2.4.3 Bomba centrífuga.** Es una máquina hidráulica que se compone básicamente por un impulsor rotativo cerrado o abierto con paletas radiales. Se utiliza en el taladro de perforación y su función es alimentar el desarenador y el desarcillador. Información enviada por el director

**2.4.4 Centrifuga decantadora.** Una centrifuga decantadora es un equipo de control de sólidos que remueve sólidos por centrifugación. Su diseño se basa en un recipiente de forma cónica o cilíndrica que gira en su propio eje por una fuerza "G" que permite la separación mecánica de fases de diferentes gravedades específicas y/o tamaño de partículas (separa tamaño de sólidos de 6 $\mu$ ), generando una aceleración que permite que los sólidos formen una capa en la pared del cilindro, mientras el fluido y sólidos más pequeñas se dirigen hacia el centro, donde se encuentran con un tornillo que transporta el fluido y los sólidos hacia la descarga respectiva, dicho tornillo se conoce como tornillo transportador.<sup>46</sup>

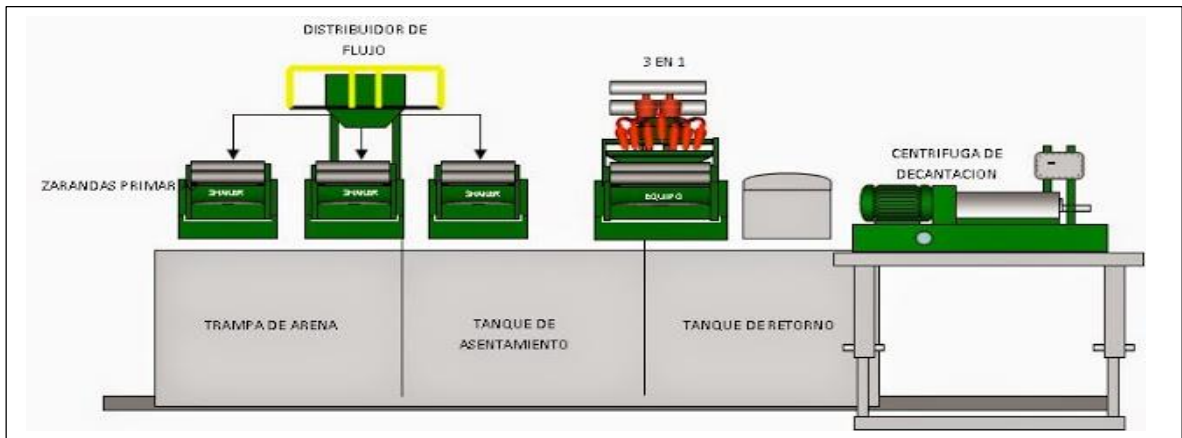
---

<sup>44</sup> PORTILLO, Op. Cit., diapositiva. 22.

<sup>45</sup> *Ibíd.*, diapositiva. 23

<sup>46</sup> *Ibíd.*, p. 185

**Figura 10.** Instalación de Equipos de Control de Sólidos



**Fuente.** PerfoBlogger. Instalación de los equipos de control de sólidos [en línea] recuperado de <<http://perfob.blogspot.com.co/2015/05/instalacion-de-los-equipos-de-control.html>>, [citado el 16 de enero del 2018]

## 2.5 ZARANDA VIBRATORIA

Es el primer dispositivo y quizás el más significativo del sistema del control mecánico de sólidos, pues recibe el fluido proveniente del pozo que fluye a través del *flow line*. La zaranda consiste de una canasta que vibra a partir de fuerzas generadas por motores eléctricos. Este movimiento acelera la separación natural de las partículas sólidas cuando la fase líquida del fluido de perforación pasa a través de las mallas y continúa por el sistema activo. La zaranda vibratoria remueve sólidos de 74  $\mu$  en adelante. **Ver figura 11.**<sup>47</sup>

Este trabajo se enfoca principalmente en el método de separación mecánica, donde los equipos que remueven los sólidos mecánicamente utilizan dispositivos tamizadores, como lo son las zarandas vibratorias.

Las zarandas operan sobre el principio de exponer a vibración, el fluido a procesar; de este modo, es acelerada la tasa de separación de los sólidos.

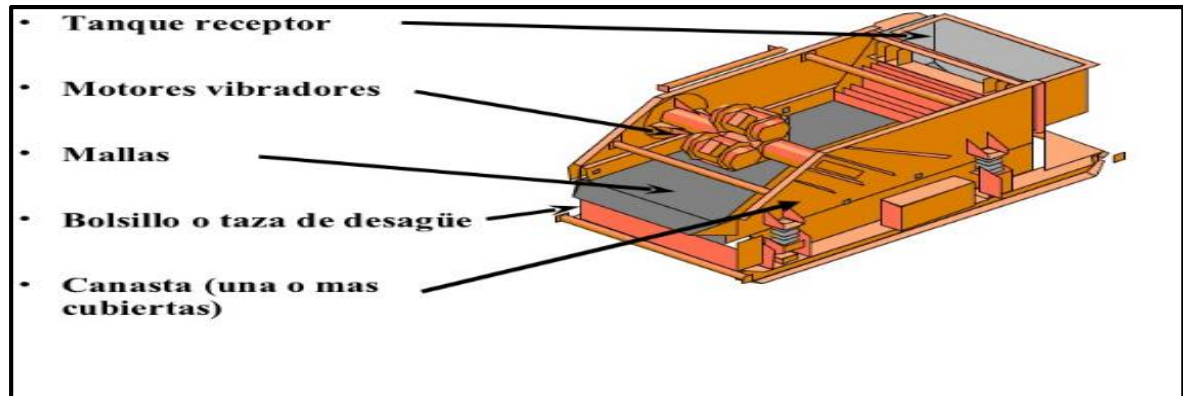
El fluido de perforación ingresa al equipo por la parte inferior del tanque receptor, debido al impulso que trae el fluido pasa por rebose a los paneles de malla.

En la superficie de tamizado por medio de vibración generada debido a la fuerza G (el concepto de Fuerza G se explica en el numeral 2.6.4), es formado un depósito líquido conocido como “charco” en el sector continuo a la caja del fluido de perforación; donde su tamaño depende de algunos factores especialmente la inclinación de la canasta de la zaranda.

<sup>47</sup> *Ibíd.*, p. 83

Las partículas sólidas separadas en la parte de la “piscina” son transportadas a través del resto de la superficie de tamizado y en el proceso de deshidratación hacia el extremo de la descarga donde definitivamente son descartadas al *Catch tank* y el fluido tamizado continúa por el sistema de circulación.<sup>48</sup>

**Figura 11.** Componentes básicos de una zaranda vibratoria.



**Fuente.** Fernández, Magnus. Curso control de sólidos mi swaco [en línea] recuperado de <<https://es.slideshare.net/magnusgabrielhuertafernandez/curso-control-solidos-mi-swaco>>, p. 31 [citado el 30 de mayo del 2017]

Para la realización de este trabajo de grado se utilizaron dos tipos de zarandas de diferente tecnología, se nombran de la siguiente manera:

**2.5.1 Zaranda vibratoria M-Swaco Mongoose PT.** Se diseñó especialmente para la perforación. La zaranda vibratoria Mongoose PT es una canasta vibratoria de malla plana fina, con cuatro (4) secciones de mallas en serie. El ángulo de la cubierta es ajustable hasta 3° (grados) hacia arriba o hacia. Esto permite un control de la profundidad de la malla y la longitud que recorrerá el fluido de perforación en la malla. La zaranda vibratoria Mongoose PT tiene un sistema de distribución de fluidos de perforación para mejorar el rendimiento de separación de sólidos. La operación de tamizado se mejora cuando se reduce el impulso hacia delante o se reduce la energía cinética del fluido de perforación y se aplica al comienzo de la malla de alimentación. El sistema de distribución de fluidos está montado sobre la cubierta de la malla. El fluido es redirigido desde la línea de entrada a través de la caja desviadora en una media tubería que está soldada a la parte posterior de la cubierta de la malla.

El flujo entra en la mitad del tubo en la parte inferior y gira hacia arriba y hacia atrás a través de la corriente de fluido. Esto reduce la velocidad del fluido antes de que haga contacto con la superficie de tamizado.

Dado que el sistema de distribución de fluidos está montado encima de la cubierta de la malla, no hay trampa para recoger los sólidos. A medida que el fluido pasa a

<sup>48</sup> *Ibíd.*, p. 84

través de la caja desviadora, barre la caja limpia. Cada agitador está equipado con dos (2) o tres (3) motores vibratorios. El montaje único de estos motores vibradores produce un movimiento lineal (numeral 2.6.2) para una versión dos (2) motores y un movimiento elíptico balanceado para una versión de tres (3) motores.

Con la versión de dos (2) motores, la fuerza G en el agitador se incrementa en un 20% (6 Gs). La fuerza aumentada y el movimiento lineal dan como resultado una vida útil corta a la malla, si se usan continuamente.

Cuando la versión de tres (3) motores está en funcionamiento su fuerza G es menos (5 Gs), la unidad produce un movimiento elíptico balanceado (numeral 2.6.3) de la cubierta que hace más lento el transporte del sólido y da como resultado unos cortes de perforación más secos (29" (737 mm) corte) y una vida útil de la malla más larga. **Ver figura 12.** <sup>49</sup>

**Figura 12** Zaranda Vibratoria Mongoose PT



**Fuente.** Fernández, Magnus. Curso control de sólidos mi swaco [en línea] recuperado de <<https://es.slideshare.net/magnusgabrielhuertafernandez/curso-control-solidos-mi-swaco>>, p. 31 [citado el 30 de mayo del 2017]

**2.5.2 Zaranda vibratoria Hyperpool.** Mediante la combinación de múltiples zarandas en un solo patín, las zarandas Hyperpool ofrecen mayor capacidad en un espacio más compacto, permite la operación simultánea de todas las zarandas o de una sola zaranda, dependiendo la operación de perforación lo requiera. El diseño modular de las zarandas Hyperpool, con cuatro (4) secciones de mallas en serie, permite retirar una zaranda sin interrumpir el trabajo de las otras restantes, debido a que manejan controles eléctricos individuales que permiten operar una zaranda o todas las zarandas al mismo tiempo.

<sup>49</sup>MI SWACO. Installation, Operation, and Maintenance Manual: Mongoose PT Mud Cleaner. Per Assembly. Houston, TX, 2015.

El alimentador de caja de caudal posee una flexibilidad que permite la distribución del fluido de perforación hacia cada zaranda o sobrepasar una o más zarandas si es necesario. De igual manera está equipada con cierres de vertederos que permiten interrumpir el flujo hacia las zarandas innecesarias, esto facilita el cambio de las **mallas piramidales** (numeral 2.7) o realizar otras actividades de mantenimiento.

Una tubería de sobrepaso que conecta todas las salidas de descarga permite desviar el flujo de las canastas cuando es requerido para mantenimiento de los equipos o para ajustarse a las condiciones de perforación. Una válvula en forma de mariposa permite abrir o cerrar el paso del fluido de perforación.

Este tipo de zarandas manejan una Fuerza G de 7.1 en una serie de motores con movimientos lineales, que dan como resultado cortes de perforación más secos (37" (940 mm) corte). **Ver figura 13.**<sup>50</sup>

**Figura 13** Zaranda Vibratoria Hyperpool.



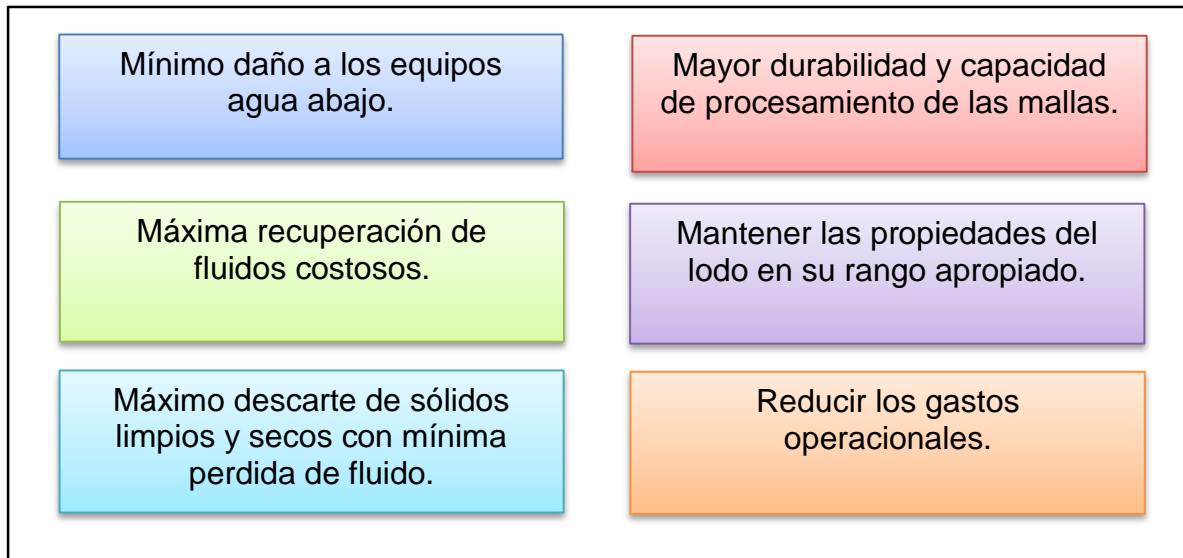
**Fuente.** DERRICK. HYPERPOOL SHAKER SGX MOTOR: Maintenance & Operation Manual. Derrick Equipment Company. Houston, Texas, 2013.

La zaranda o *shale shaker* debe funcionar desde el inicio de la perforación con máxima eficiencia para cumplir con sus objetivos principales. **Ver figura 14.**

---

<sup>50</sup> DERRICK. HYPERPOOL SHAKER SGX MOTOR: Maintenance & Operation Manual. Derrick Equipment Company. Houston, Texas, 2013.

**Figura 14.** Objetivos principales de la zaranda vibratoria



**Fuente.** D. Leguizamo Ochoa, *MANUAL DE ENTRENAMIENTO BÁSICO PARA EL SISTEMA DE CONTROL DE SÓLIDOS*, Primera edición. Bogota D.C, Colombia; Solids Control School, 2015. Modificada por los autores.

Las zarandas vibratorias manejan unos patrones o normas de vibración, donde la posición de los motores determina el tipo de movimiento de la zaranda vibratoria y los cuales se clasifican de la siguiente manera:

## 2.6 CLASIFICACIÓN SEGÚN EL PATRÓN DE VIBRACIÓN

Las zarandas se clasifican según el patrón de vibración, en los siguientes movimientos:

**2.6.1 Movimiento circular.** Es un patrón de vibración balanceado dinámicamente. La vibración circular permite el transporte adecuado de los sólidos e la canasta en una orientación horizontal. **Ver figura 15.**

Este tipo de zarandas vibratorias a menudo incorporan secciones cubiertas múltiples que permiten el uso de mallas finas; el transporte de los cortes es rápido; por lo tanto, tienen una baja capacidad para secarlos y son descargados generalmente húmedos. Además, presentan altas (6Gs – 7Gs) Fuerzas G. actualmente es de poco uso, debido a su antigua tecnología.<sup>51</sup>

<sup>51</sup> LEGUIZAMO, Op. Cit.,p. 89

**Figura 15** Movimiento circular de la canasta.



**Fuente:** Fernández, Magnus. Curso control de sólidos mi swaco [en línea] recuperado de <<https://es.slideshare.net/magnusgabrielhuertafernandez/curso-control-solidos-mi-swaco>> p. 34 [citado el 30 de mayo del 2017]

**2.6.2 Movimiento lineal.** Es un patrón de vibración balanceado dinámicamente. la fuerza neta en la canasta es cero, excepto a lo largo de la línea que pasa por el centro de la gravedad. El ángulo de esta recta de movimiento va normalmente entre 45 y 50 grados, en relación a la superficie de tamizado de la zaranda vibratoria para obtener un transporte máximo de sólidos, por lo tanto, da como resultado cortes más secos. **Ver figura 16.**<sup>52</sup>

**Figura 16** Movimiento lineal de la canasta.



**Fuente.** Fernández, Magnus. Curso control de sólidos mi swaco [en línea] recuperado de <<https://es.slideshare.net/magnusgabrielhuertafernandez/curso-control-solidos-mi-swaco>> p. 36 [citado el 30 de mayo del 2017]

**2.6.3 Movimiento elíptico balanceado.** Es un patrón de vibración simétrico o equilibrado dinámicamente.

Las áreas de la canasta. Se desplazan en movimiento elíptico uniforme. Las mallas duran más tiempo debido a que el movimiento provee un patrón de aceleración más suave, por lo tanto, da como resultado, cortes de perforación más húmedos. **Ver figura 17.**

---

<sup>52</sup> Ibíd., p. 89



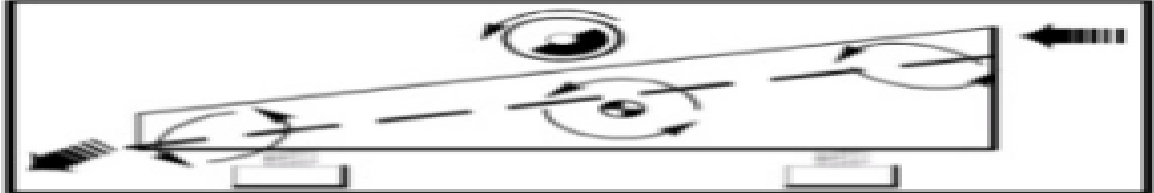
**Figura 17** Movimiento elíptico simétrico de la canasta.



**Fuente.** Fernández, Magnus. Curso control de sólidos mi swaco [en línea] recuperado de <<https://es.slideshare.net/magnusgabrielhuertafernandez/curso-control-solidos-mi-swaco>> p. 39 [citado el 30 de mayo del 2017]

**2.6.4 Movimiento elíptico desbalanceado.** Es un patrón de vibración asimétrico o desequilibrado dinámicamente. **Ver figura 18.**

**Figura 18** Movimiento elíptico desbalanceado de la canasta.



**Fuente.** Fernández, Magnus. Curso control de sólidos mi swaco [en línea] recuperado de <<https://es.slideshare.net/magnusgabrielhuertafernandez/curso-control-solidos-mi-swaco>> p. 39 [citado el 30 de mayo del 2017]

Los motores vibradores van colocados a cada lado de la canasta y no rotan en el centro de la gravedad de la canasta, aplicándose el torque sobre esta.

El patrón de vibración varía a lo largo de la longitud de la superficie de tamizado.<sup>53</sup>

El volumen de fluido que puede procesar una zaranda y la capacidad de separación de sólidos, depende principalmente de los siguientes parámetros:

- **Motores:** son antiexplosivos, trifásicos 230/460, 60 Hz, de 2 a 3 HP, 1770 a 1800 RPM. La velocidad del motor es la que realmente influye en la capacidad de procesamiento y separación de partículas en una zaranda lineal.
- **Fuerza “G”:** es la fuerza relacionada con la capacidad que tiene la zaranda para desplazar el fluido y los cortes sobre las mallas. Esta fuerza depende del porcentaje de ajuste de las contrapesas o pesos excéntricos colocados en los extremos de los motores y en otras de las RPM de los motores. **Ver ecuación 1.**

---

<sup>53</sup> *Ibíd.*, p. 90

## Ecuación 1 Fuerza G

$$Fuerza G = \frac{STROKE (desplazamiento) * (RPM)^2}{70490}$$

**Fuente.** PORTLLO, Javier. Fundamentos del Control de Sólidos. [Diapositivas]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/javierportillo100/curso-de-control-de-slidos>. [Citado 15 de septiembre de 2017].

**Desplazamiento:** es un parámetro que permite describir el movimiento y la dirección de las partículas sobre las mallas. La embolada o movimiento, que se calcula mediante una etiqueta o tarjeta que se coloca externamente sobre la superficie de la canasta (*deck*). La vibración origina un círculo bien definido que, conjuntamente con uno de los círculos de la tarjeta, toma la figura de un ocho. La embolada corresponde al valor del círculo tocado y la tangente entre los dos círculos indica la dirección de la partícula.<sup>54</sup>

- **Tensión de las Mallas.** La tensión de las mallas influye notablemente en su durabilidad y en la capacidad de separación de las partículas, esto quiere decir que la falta de tensión aumenta las emboladas y, en consecuencia, lo que retarda la salida o el descarte de las partículas.

Las bajas vibraciones por falta de tensión causan altas emboladas que facilitan la formación de una capa fina de sólidos sobre las mallas, lo que trae como consecuencia la disminución de la conductancia o permeabilidad de las mallas.

Las altas emboladas observadas durante la perforación son una demostración cualitativa del mal funcionamiento de una zaranda, razón por la cual es imprescindible mantener constantemente el tensionamiento de las mallas.<sup>55</sup>

## 2.7 MALLAS PARA ZARANDAS VIBRATORIAS

La malla es uno de los componentes de la zaranda que tiene por función el control de sólidos por tamizado, y su eficiencia depende de una selección adecuada y del rendimiento del resto de los componentes de la zaranda.

El tamizado hace referencia a un método físico para separar mezclas de partículas de diferentes tamaños en dos o más fracciones, cada una de las cuales está formada por moléculas de tamaño más uniforme que la combinación original.

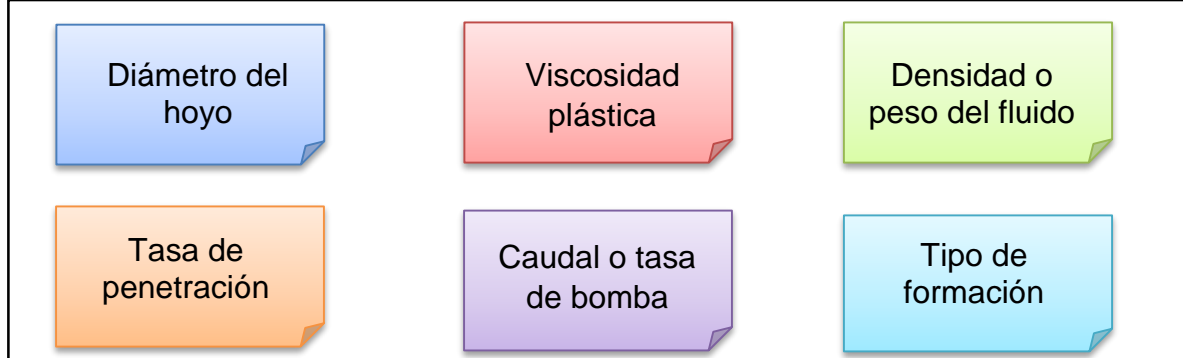
Para seleccionar la malla más adecuada de una zaranda, se toman en consideración varios parámetros. **Ver figura 19.**

---

<sup>54</sup> PORTLLO, Op., p.15

<sup>55</sup> PORTLLO, Op., p.16

**Figura 19.** Parámetros de selección de la malla



**Fuente.** D. Leguizamo Ochoa, *MANUAL DE ENTRENAMIENTO BÁSICO PARA EL SISTEMA DE CONTROL DE SÓLIDOS*, Primera edición. Bogota D.C, Colombia; Solids Control School, 2015. Modificada por los autores.

De todos estos parámetros, el caudal, el peso y la viscosidad plástica, son los que realmente toman en consideración las empresas de servicio para seleccionar las mallas de sus equipos, al menos el 75% del mallado de la zaranda, debe estar cubierto con el fluido de perforación.<sup>56</sup>

Básicamente una malla actúa como un dispositivo de prueba “pasa o no pasa” para que una u otra partícula sea suficientemente pequeña para traspasar a través de la abertura.

Las mallas son parte fundamental en el sistema de control de sólidos.

Existen diferentes tipos de mallas que se diferencian dependiendo su construcción o diseño y fineza. Los tipos de mallas son:

- Mallas no intercaladas.
- Mallas intercaladas.
- Mallas de soporte.
- Mallas pre tensionadas.<sup>57</sup>

Las mallas pre tensionadas, tienen paneles que consisten de una capa de malla fina y una de tejido ordinario de refuerzo, pegadas a un armazón metálico que sirve como soporte. Estas mallas son fáciles de instalar y extienden la vida útil de la malla.<sup>58</sup>

<sup>56</sup> *Ibíd.*, p.16

<sup>57</sup> Leguizamo, Op. Cit.,p. 111

<sup>58</sup> *Ibíd.*, p.112

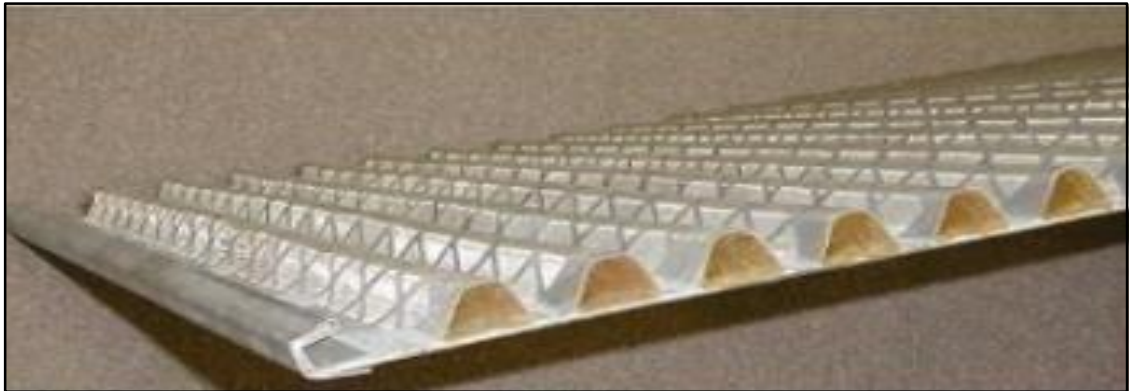
Las mallas pre tensionadas se dividen en dos tipos las cuales hacen referencia al punto principal de este trabajo, las cuales son:

- **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.<sup>59</sup> **Ver figura 20.**

El diseño de esta malla ofrece las siguientes ventajas:

- Incrementan la capacidad de flujo, sin aumentar el tamaño o número zarandas vibratorias.
- Brindan distribución uniforme del fluido de perforación a través de la superficie de la malla.
- Mejoran el secado de los cortes de perforación.

**Figura 20.** Malla piramidal (Derrick)



**Fuente.** Fernández, Magnus. Curso control de sólidos mi swaco [en línea] recuperado de <<https://es.slideshare.net/magnusgabrielhuertafernandez/curso-control-solidos-mi-swaco>> p. 77 [citado el 30 de mayo del 2017]

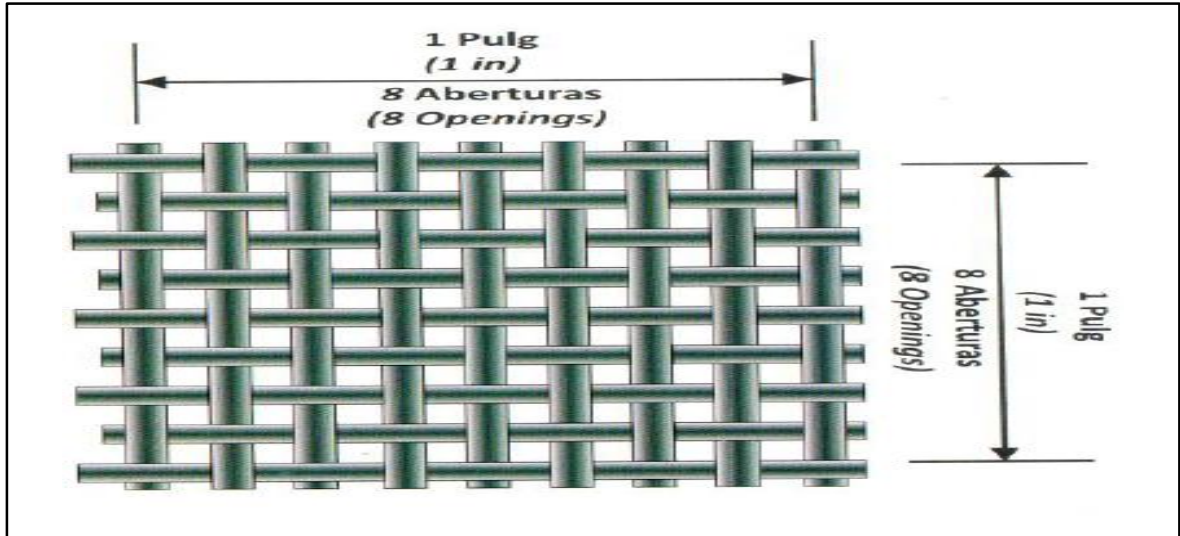
Las mallas se rigen bajo dos características principales, las cuales determinan la cantidad de sólidos capaces de remover, las cuales son:

---

<sup>59</sup> Ibíd., p. 113

- **Número Mesh de la malla.** Es el número de aberturas por pulgada lineal. Hace referencia al tamaño de la malla. **Ver figura 21.** La descripción de la malla es determinada en función de este número y según él es conocido el tamiz que debe utilizarse. Si el número de Mesh es alto, la malla es más fina y viceversa. Puede ser medido, empezando desde el centro de un alambre y contando el número de aberturas hasta un punto distante de una pulgada. <sup>60</sup>

**Figura 21** Malla de Numero Mesh 8



**Fuente.** D. Leguizamo Ochoa, *MANUAL DE ENTRENAMIENTO BÁSICO PARA EL SISTEMA DE CONTROL DE SÓLIDOS*, Primera edición. Bogota D.C, Colombia; Solids Control School, 2015.

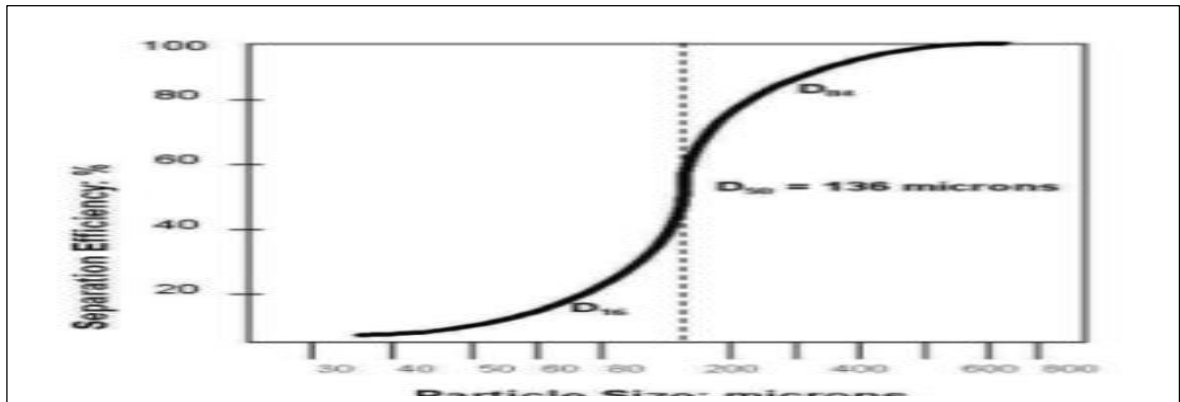
- **Número API:** El tamaño de aberturas de una malla, que determina la medida de las partículas que puede remover.<sup>61</sup> **Ver Anexo A**
- **Punto de corte:** es el rango de tamaño de partícula a ser removido por un dispositivo de control de sólidos, basado en el diámetro esférico equivalente. **Ver figura 22.**<sup>62</sup>

<sup>60</sup> *Ibíd.*, p. 115

<sup>61</sup> *Ibíd.*, p. 115

<sup>62</sup> *Ibíd.*, p. 66

**Figura 22** Curva típica de punto de corte



**Fuente.** D. Leguizamo Ochoa, *MANUAL DE ENTRENAMIENTO BÁSICO PARA EL SISTEMA DE CONTROL DE SÓLIDOS*, Primera edición. Bogota D.C, Colombia; Solids Control School, 2015.

Las partículas a la izquierda de la curva representan los sólidos de menor tamaño retomados con el fluido de perforación.

Las partículas a la derecha de la curva representan los sólidos removidos.

El D50 (punto de corte medio) donde el 50% de cierto tamaño de sólido es removido.

Todo lo relacionado en este capítulo tiene en común una finalidad, que es alcanzar los beneficios de la remoción de sólidos en el fluido de perforación, los cuales son:

- Optimización de las propiedades reológicas y fisicoquímicas.
- Disminución del impacto ambiental.
- Reducción en costos del proyecto.
- Disminución de los problemas de torque y arrastre.
- Mejoramiento en la interpretación de los registros eléctricos.
- Optimización de los trabajos de cementación.
- Mejoramiento en la vida útil de los equipos y accesorios.
- Estabilidad del pozo.
- Disminución del daño a la formación.

- Disminución de la frecuencia de pegas por presión diferencial.
- Reducción de pérdidas de circulación.
- Incremento en las tasas de perforación.<sup>63</sup>

## **2.8 PRUEBAS A REALIZAR EN LOS CORTES DE PERFORACIÓN**

Las pruebas que se describen a continuación, fueron las pruebas realizadas por parte de la empresa RAMDE DE COLOMBIA a los cortes de perforación de las Zaranda Hyperpool con malla piramidal y Zaranda Mongoose PT con malla plana.

**2.8.1 Porcentaje de humedad.** En esta prueba se determina el porcentaje de humedad del corte descartado por el equipo de control de sólidos primario, mediante una medición de rutina y a través de un método cuantitativo. Este procedimiento inicia desde la toma de la muestra del corte descartado en el equipo de control de sólidos hasta la obtención del resultado cuyas unidades se dan en porcentajes (%). **Ver Anexo B**

**2.8.2 Densidad.** En esta prueba se determina el peso del fluido de perforación procesado en el equipo de control de sólidos primarios, mediante una medición de rutina y a través de un método cuantitativo. Este procedimiento inicia desde la toma de la muestra del fluido de perforación en el equipo de control de sólidos hasta la obtención del resultado cuyas unidades son libras por galón (lb/gal). Se busca tomar la densidad del fluido aguas arriba y aguas debajo de la zaranda. **Ver Anexo C**

**2.8.3 Remoción de sólidos.** En esta prueba se determina el porcentaje de remoción de sólidos para un determinado API de mallas que se realiza en las Zarandas Hyperpool y Mongoose PT, mediante una medición de rutina y a través de un método cuantitativo. Este procedimiento inicia desde la toma de la muestra del fluido de perforación en los zarandas hasta la obtención del resultado cuyas unidades se dan en porcentajes (%).<sup>64</sup> **Ver Anexo D**

---

<sup>63</sup> *Ibíd.*, p. 19

<sup>64</sup> RAMDE SOLIDS CONTROL. INSTRUCTIVO PARA LA DETERMINACION DE LA REMOCION DE SÓLIDOS EN LOS SHAKERS. 2017.

### 3. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LAS ZARANDAS CON MALLAS PLANAS Y PIRAMIDAL, EN LA PERFORACIÓN DE LA SECCIÓN 12 ¼” DE DOS POZOS EN EL CAMPO CASTILLA

El presente capítulo comprende la descripción de los equipos de control de sólidos primarios utilizados para la perforación de la segunda sección 12 ¼”, y los resultados de las pruebas de laboratorio, desarrolladas según la norma API 13C realizadas en los dos pozos de interés, utilizando Zarandas vibratorias Mongoose con mallas planas en el Taladro 992, y Zarandas vibratorias Hyperpool con mallas piramidales en el Taladro X45, teniendo en cuenta que en los dos pozos se perforo con el mismo tipo de fluido (polimérico semidiserso) y con el mismo número API de las mallas (140) y un punto de corte de 116 micrón.

#### 3.1 ZARANDA MONGOOSE

A continuación, se muestra la descripción de los equipos de control de sólidos primarios y las pruebas realizadas para la perforación del pozo Castilla 216 con esta tecnología, utilizando mallas planas, durante la perforación de la segunda sección 12 ¼”, que va desde los 1019 a 7335 pies de profundidad, con una ROP de 43.6 pies por hora promedio. En la cual la densidad del fluido de perforación polimérico semidiserso al inicio de la sección fue de 10.5 libra masa por galón y al finalizar la sección, el fluido tuvo una densidad de 12.2 libra masa por galón. Para la perforación de esta sección se prepararon en total 9961 barriles.

**3.1.1 Descripción de los equipos de control de sólidos primarios.** El taladro 992 que se utilizó para la perforación de este pozo, está compuesto por tres zarandas vibratorias Mi-Swaco modelo Mongoose PT y un *Mud Cleaner* el cual no se tendrá en cuenta para este análisis. Las características principales de estos equipos están en la **Sección 2.5.1**.

La **Tabla 3** contiene las especificaciones de operación de las mallas utilizadas en las tres zarandas vibratoria durante las pruebas, y las condiciones de operación para la perforación de esta sección.

**Tabla 3** Especificaciones operacionales de las mallas planas y equipos

Especificaciones	Zaranda 1	Zaranda 2	Zaranda 3
Fabricante	Mi-Swaco	Mi-Swaco	Mi-Swaco
Tipo de malla	Plana	Plana	Plana
API/punto de corte	140/116 micrón	140/116 micrón	140/116 micrón
Fuerza G	5	5	5

**Fuente.** Ramde Solids Control. Porcentaje de humedad de los recortes. 2017. Modificado por los autores.



**3.1.2 Toma de muestras.** Las muestras del fluido de perforación para realizar las pruebas correspondientes se tomaron teniendo en cuenta, que el caudal recibido del pozo fue de aproximadamente 881 galones por minuto, de lo cual cada zaranda vibratoria recibió 294 galones por minuto de lo que llegaba del pozo. La toma de muestra del fluido se realizó tomando de cada zaranda vibratoria una muestra significativa en un mismo recipiente haciendo una muestra homogénea.

**3.1.3 Resultados de las pruebas.** En la **Tabla 4**, se muestra los resultados de las pruebas tomadas, para realizar el análisis indicado. En la cual se puede visualizar cuantas muestras se recogieron de la segunda sección del pozo, con sus respectivas profundidades a las que se tomaron, la formación que se estaba perforando y las variables de operación, como es la ROP, galones por minutos y la inclinación de la zaranda vibratoria.

**Tabla 4** Características de las muestras de fluido tomadas de las mallas planas

Muestra	Profundidad (pies)	Formación	GPM (Galones/minuto)	ROP promedio (pies/hora)	Inclinación (°)
1	1200	Areniscas Superior	950	36	8
2	1544	Lutita E	950	86	8
3	2500	Unidad C1	910	74	8
4	2827	Unidad C1	900	65	8
5	3208	Arenisca Carbonera	900	64	8
6	3526	Unidad C2	900	26	8
7	4120	Unidad C2	880	28	8
8	4443	Unidad C2	890	43	8
9	4731	Unidad C2	900	26	8
10	5493	Unidad C2	850	27	8
11	5546	Lutita E3	850	15	8
12	5834	Lutita E3	850	48	8
13	6501	Lutita E4	850	42	8
14	6785	Lutita E4	850	57	8
15	6976	Lutita E4	850	40	8
16	7300	Lutita E4	850	45	8
17	7335	San Fernando	850	20	8

**Fuente.** Ramde Solids Control. Porcentaje de humedad de los recortes. 2017. Modificado por los autores.

**3.1.3.1 Humedad de los recortes.** En la **Tabla 5** se muestra los porcentajes de fluido y sólidos de cada muestra tomada. Este porcentaje se determina por medio de la prueba de la retorta que nos da como resultado los mililitros que tiene de agua y de aceite, brindando la posibilidad de calcular la humedad de los recortes. Esta prueba se explica en la **Sección 2.8.1**

**Tabla 5** Porcentaje de humedad de los recortes.

Muestras	% de fluido	% de sólidos
1	56	44
2	56	44
3	56	44
4	58	42
5	58	42
6	58	42
7	57	43
8	58	42
9	57	43
10	58	42
11	56	44
12	58	42
13	58	42
14	58	42
15	58	42
16	58	42
17	58	42

**Fuente.** Ramde Solids Control. Porcentaje de humedad de los recortes. 2017. Modificado por los autores.

En la anterior tabla se puede observar que el porcentaje de humedad esta entre el rango de 56 a 58 % y el porcentaje de sólidos esta de 42 a 44%.

En la **Tabla 6** se muestra el promedio de los datos de operación, y el porcentaje de la humedad de los sólidos, con el objetivo de realizar las comparaciones adecuadas.

**Tabla 6** Profundidad, parámetros operacionales y humedad de los recortes promedios.

Profundidad (pies)	GPM (Galones por minuto)	ROP promedio (pies/hora)	Inclinación (°)	% Humedad de los recortes
4698	881	43.64	8	57.4

**Fuente.** Ramde Solids Control. Modificado por los autores.

En la anterior tabla se evidencia que, durante la perforación de la segunda sección, en promedio, la humedad del recorte fue del 57%.

**3.1.3.2 Densidad.** En la **Tabla 7** se muestra la densidad con la que llega el fluido de perforación a la zaranda vibratoria, la densidad de la descarga de fluido de esta y la densidad de los recortes que se retiran. Esta prueba se explica en la **Sección 2.8.2.**

**Tabla 7** Densidades tomadas.

Muestra	Densidad de lodo entrada (libra masa/galones)	Densidad descarga liquida (libra masa/galones)	Densidad descarga solida (libra masa/galones)
1	10.6	10.5	15.1
2	10.6	10.5	15.1
3	10.6	10.5	15.3
4	10.7	10.6	15.4
5	10.7	10.6	15.4
6	10.7	10.6	15.4
7	11.4	11.3	15.5
8	11.9	11.8	15.7
9	11.9	11.8	15.7
10	12.2	12.1	16.1
11	12.1	12	16
12	12.2	12.1	16.1
13	12.2	12	16.1
14	12.2	12	16.1
15	12.2	12	16.1
16	12.4	12.3	15.3
17	12.4	12.3	16.3

**Fuente.** Ramde Solids Control. Porcentaje de humedad de los recortes. 2017.  
Modificado por los autores.

En la **Tabla 8** se muestra el promedio de los datos de operación, la densidad promedio de descarga de fluido proveniente del anular en la zaranda vibratoria, la densidad promedio de descarga liquida y la densidad promedio de descarga sólida, con el objetivo de realizar las comparaciones adecuadas.

**Tabla 8** Profundidad, datos operacionales y densidades promedios.

Profundidad (Pies)	GPM (Galones por minuto)	ROP promedio (pies/hora)	Inclinación (°)	Densidad de entrada (libra masa/galones)	Densidad descarga liquida (libra masa/galones)	Densidad descarga solida (libra masa/galones)
4698	881	43.64	8	11.58	11.47	15.68

**Fuente.** Ramde Solids Control. Modificado por los autores.

En la **Tabla 8** se observó que los equipos logran bajar la densidad del fluido en un 0.1 libra masa por galón.

**3.1.3.3 Remoción de sólidos.** En la **Tabla 9** se observan la eficiencia de la remoción de sólidos de cada muestra, tomada de los equipos primarios de control de sólidos. Esta prueba se explica en la **Sección 2.8.3**.

**Tabla 9** Eficiencia de remoción de sólidos

Muestra	% eficiencia de remoción de sólidos
1	55.3
2	55.3
3	55.3
4	56.6
5	56.5
6	56.6
7	56.3
8	58.5
9	58.5
10	61.8
11	61.5
12	61.6
13	62.6
14	62.6
15	62.6
16	62.4
17	64.7

**Fuente.** Ramde Solids Control. Porcentaje de humedad de los recortes. 2017. Modificado por los autores.

En la anterior tabla se observa que la eficiencia de remoción de sólidos varía entre el 55.3 y 64.7 %.

En la **Tabla 10** se muestra el promedio de los datos de operación con la eficiencia de remoción de sólidos.

**Tabla 10** Profundidad, datos operacionales y eficiencia de la remoción de sólidos promedio.

Profundidad (Pies)	Galones por minuto (GPM)	ROP promedio (Pies/Hora)	Inclinación (°)	%Eficiencia remoción de los recortes
4698	881	43.64	8	59.33

**Fuente.** Ramde Solids Control. Modificado por los autores.

En la **Tabla 10** se muestra que el porcentaje de eficiencia de remoción de sólidos primario es de 59.3%.

**3.1.3.4 Área de secado.** Es un parámetro cuantitativo que se toma observando la determinada área que no ocupa el fluido. En la **Tabla 11** se observa el área de secado que tuvo en promedio cada zaranda en las tomas de muestras.

**Tabla 11** Área de secado.

Muestra	Área de secado (%)
1	15
2	15
3	10
4	10
5	10
6	10
7	10
8	10
9	10
10	10
11	10
12	10
13	10
14	10
15	10
16	10
17	10

**Fuente.** Ramde Solids Control. Porcentaje de humedad de los recortes. 2017. Modificado por los autores.

Con base en los datos presentados del porcentaje del área del secado varían de 10 y 15 por ciento.

En la **Tabla 12** se observa el área de secado promedio que tuvieron las mallas durante la perforación de la segunda sección.

**Tabla 12** Profundidad, datos operacionales y área de secado.

Profundidad (Pies)	Galones por minuto (GPM)	ROP promedio (Pies/Hora)	Inclinación	% Área de secado
4698.17647	881.176471	43.6470588	8	10.58823529

**Fuente.** Ramde Solids Control. Modificado por los autores.

En la **Tabla 12** se muestra que el área de secado fue de 10.5 %, indicando que el recorte no tiene una mayor área para filtrar el fluido de perforación.

**3.1.3.5 Cantidad de mallas.** Durante la perforación de la segunda sección de 12 ¼” en el Pozo Castilla 216, que equivalen a 6316 pies perforados, se necesitaron 21 mallas planas para realizar este objetivo. Se sabe que para realizar esta actividad se utilizaron 4 mallas por zarandas y tres zarandas, en total nos da una cantidad de 12 mallas para poder hacer el control de sólidos primarios adecuado, significa que esas 12 mallas indica la superficie total del tamizado de las tres zarandas. En la **Tabla 13** se observan datos de los pies perforados, los pies perforados promedio por las 12 mallas y los pies perforados promedio por cada malla.

**Tabla 13** Mallas utilizadas

Descripción /malla	Malla plana
Pies perforados	6316
Mallas utilizadas	21
Pies perforados / # de mallas utilizadas	300 pies/malla
Pies perforados/ 12 mallas	3600 pies/12 mallas

**Fuente.** Ramde Solids Control. Modificado por los autores.

## 3.2 ZARANDAS VIBRATORIAS HYPERPOOL

A continuación, se muestra la descripción de los equipos de control de sólidos primarios y las pruebas realizadas para la perforación del Pozo Castilla 416 con esta tecnología, utilizando mallas piramidales para la perforación de la segunda sección 12 ¼”, que va desde los 998 a 6656 pies de profundidad, con una ROP promedio de 58.3 pies por hora. En la cual la densidad del fluido de perforación polimérico semidisperso al inicio de la sección fue de 10.5 libra masa por galón y al finalizar la sección el fluido tuvo una densidad de 12.2 libra masa por galón. Para la perforación de esta sección se prepararon en total 5061 barriles de fluido.

**3.2.1 Descripción de los equipos de control de sólidos primarios.** Para la perforación del Pozo Castilla 416, se utilizó un taladro X45, que está compuesto por tres zarandas vibratorias Hyperpool con malla piramidal de API 140 y un Mud Cleaner que como en el caso anterior no se va a tener en cuenta para el análisis. Las características de estos equipos están en la **Sección 2.5.2**.

La **Tabla 14** contiene las características de operación de las mallas piramidales utilizadas.

**Tabla 14** Especificaciones operacionales de las mallas piramidales.

Especificaciones	Zaranda 1	Zaranda 2	Zaranda 3
Fabricante	Derrick	Derrick	Derrick
Tipo de malla	Piramidal	Piramidal	Piramidal
API/ punto de corte	140/116 micrón	140/116 micrón	140/116 micrón
Fuerza G	7.1	7.1	7.1

**Fuente.** Ramde Solids Control. Porcentaje de humedad de los recortes. 2017. Modificado por los autores.

**3.2.2 Toma de muestras.** Las muestras para realizar las pruebas correspondientes se tomaron teniendo en cuenta, que el caudal recibido del anular fue de aproximadamente 912 galones por minuto, de lo cual cada zaranda vibratoria recibió 304 galones por minuto. Para realizar la toma de muestras en estas zarandas vibratorias, se desarrolló de la misma manera, como se hizo con las zarandas vibratoria Mongoose.

**3.2.3 Resultados de las pruebas.** A continuación, se va a mostrar los resultados de las pruebas tomadas que son; humedad de los recortes, remoción de sólidos, densidades y área de secado, con el objetivo de realizar el análisis indicado. En la **Tabla 15** se puede visualizar cuantas muestras se recogieron durante la perforación de la sección 12 ¼ “del Pozo Castilla 416, con sus respectivas profundidades a las que se tomaron, la formación que se estaba atravesando y las variables de operación, como es la ROP, galones por minutos y la inclinación de la zaranda vibratoria.

**Tabla 15.** Características de las muestras fluido tomadas de las mallas piramidales.

MUESTRA	PROFUNDIDAD (Pies)	Formación	GPM (Galones/Minuto)	ROP promedio (Pies/ Hora)	INCLINACION (°)
1	1062	GUAYABO	950	64	7
2	2250	LUTITA E	1000	123	8
3	3030	UNIDAD C1	1000	156	8
4	3585	UNIDAD C2	1000	93	7
5	4436	UNIDAD C2	960	65	7
6	4855	UNIDAD C2	960	84	6
7	4996	UNIDAD C2	900	22	6
8	5166	UNIDAD C2	900	28	6
9	5480	LUTITA E3	900	63	6
10	5779	LUTITA E3	900	50	6
11	6140	LUTITA E4	900	30	6
12	6355	LUTITA E4	900	43	6
13	6512	LUTITA E4	900	26	6
14	6615	LUTITA E4	850	18	6
15	6656	SAN FERNANDO	850	10	6

**Fuente.** Ramde Solids Control. Porcentaje de humedad de los recortes. 2017. Modificado por los autores.

**3.2.3.1 Humedad de los recortes.** En la **Tabla 16** se muestra los porcentajes de fluido de perforación que hay presente en los recortes proveniente del pozo.

**Tabla 16** Porcentaje de humedad de los recortes

Muestras	% de fluido	% sólidos
1	50	50
2	51	49
3	51	49
4	49	51
5	50	50
6	51	49
7	48	52
8	49	51
9	49	51
10	48	52
11	49	51
12	49	51
13	48	52
14	48	52
15	48	52

**Fuente.** Ramde Solids Control. Porcentaje de humedad de los recortes. 2017. Modificado por los autores.

En la anterior tabla se puede observar que los valores de humedad varían entre 48 a 51% y los porcentajes de sólidos varían ente 49 y 52%.

En la **Tabla 17** se presenta el promedio de los datos de operación y del porcentaje de humedad del recorte, para realizar las comparaciones adecuadas, teniendo en cuenta que cada zaranda vibratoria maneja un caudal de 308.21 galones por minutos.

**Tabla 17** Profundidad, parámetros operacionales y humedad de los recortes promedios.

Profundidad (Pies)	Galones por minuto (GPM)	ROP promedio (Pies/Hora)	Inclinación (°)	% Humedad de los recortes
4861	924	58.3	6	49.2

**Fuente.** Ramde Solids Control. Modificado por los autores.

**3.2.3.2 Densidad.** En la **Tabla 18** se muestra la densidad con la que llega el fluido de perforación a la zaranda vibratoria, la densidad de la descarga de fluido de esta y la densidad de los recortes que se retiran.



**Tabla 18** Densidades tomadas

Muestras	Densidad de lodo entrada (Libra masa/galones)	Densidad descarga líquida (Libra masa/galones)	Densidad descarga sólida (Libra masa/galones)
1	10.7	10.5	17.1
2	10.7	10.5	17.1
3	10.8	10.6	17.2
4	10.8	10.6	17.3
5	11.5	11.3	17.4
6	11.8	11.6	17.5
7	11.8	11.6	17.5
8	12	11.8	17.4
9	12.1	11.9	17.5
10	12.1	11.9	17.5
11	12.2	12	17.6
12	12.2	12	17.6
13	12.2	12	17.6
14	12.4	12.2	17.6
15	12.4	12.2	17.7

**Fuente.** Ramde Solids Control. Porcentaje de humedad de los recortes. 2017. Modificado por los autores.

En la **Tabla 19** se muestra el promedio de los datos de operación, y las densidades tomadas, con el objetivo de realizar las comparaciones adecuadas.

**Tabla 19** Profundidad, datos operacionales y densidades promedios.

Profundidad (Pies)	Galones por minuto (GPM)	ROP promedio (Pies/Hora)	Inclinación (°)	Densidad de entrada (Libra masa/galones)	Densidad descarga líquida (Libra masa/galones)	Densidad descarga sólida (Libra masa/galones)
4861.1333333	924.6666667	58.33333333	6	11.71333333	11.51333333	17.44

**Fuente.** Ramde Solids Control. Modificado por los autores.

En la **Tabla 19** se observó que los equipos logran bajar la densidad del fluido en un 0.2 libra masa por galón.

**3.2.3.3 Remoción de sólidos.** En la **Tabla 20** se va observar la eficiencia de remoción de cada muestra, tomada de los equipos primarios de control de sólidos.

**Tabla 20** Eficiencia de remoción de sólidos

Muestras	% Eficiencia remoción de sólidos
1	66.7
2	66.7
3	68.8
4	69.7
5	70.6
6	69.4
7	70
8	69.6
9	70
10	70
11	71.1
12	71.1
13	71.1
14	71.1
15	72.3

**Fuente.** Ramde Solids Control. Porcentaje de humedad de los recortes. 2017. Modificado por los autores.

En la anterior tabla se puede observar que el dato obtenido de la eficiencia de remoción de sólidos varía entre el 66.7 al 72.3%.

En la **Tabla 21** se muestra el promedio de los datos de operación con la eficiencia de remoción de sólidos, teniendo en cuenta que cada zaranda vibratoria maneja un caudal de 304.31 galones por minuto.

**Tabla 21** Profundidad, datos operacionales y eficiencia de la remoción de sólidos promedio.

Profundidad (Pies)	Galones por minuto (GPM)	ROP promedio (Pies/Hora)	Inclinación (°)	%Eficiencia remoción de los recortes
4861	924	58.33	6	69.8

**Fuente.** Ramde Solids Control. Modificado por los autores.

**3.2.3.4 Área de secado.** En la **Tabla 22** se observa el área de secado de las mallas piramidales que tuvo en promedio cada zaranda en las tomas de muestras.

**Tabla 22** Porcentaje de área de secado.

Muestras	% Área de secado
1	25
2	20
3	20
4	25
5	30
6	30
7	30
8	30
9	30
10	30
11	30
12	30
13	30
14	30
15	30

**Fuente.** Ramde Solids Control. Porcentaje de humedad de los recortes. 2017. Modificado por los autores.

En la tabla anterior se observa que el área de secado varía de 20,25 y 30%.

En la **Tabla 23** se observa el área de secado promedio que tuvieron las mallas piramidales durante la perforación de la segunda sección.

**Tabla 23** Profundidad, datos operacionales y área de secado.

Profundidad	Galones por minuto (GPM)	ROP	Inclinación (°)	% del área de secado.
4861	924	58.3	6	28

**Fuente.** Ramde Solids Control. Modificado por los autores.

El dato promedio obtenido de las mallas piramidales en el área de secado es de 28% con un caudal promedio por zaranda vibratoria de 304 galones por minuto.

**3.2.3.5 Cantidad de mallas.** Durante la perforación de la segunda sección de 12 ¼” en el Pozo Castilla 416, que equivalen a 5658 pies perforados, se necesitaron 14 mallas piramidales de un API 140 para finalizar esta sección. Se sabe que para realizar esta actividad se utilizaron 4 mallas por zaranda y tres zarandas, para un total de 12 mallas para realizar el control de sólidos primarios. En la **Tabla 24** se observa, los pies perforados, la cantidad de mallas utilizada los pies perforados por mallas y los pies perforados por las 12 mallas.

**Tabla 24** Mallas Utilizadas

Descripción /malla	Malla piramidal
Pies perforados	5658
Mallas utilizadas	14
Pies perforados promedios / # de mallas utilizadas	404 pies/malla
Pies perforados promedios/ 12 mallas	4848 pies /12 MALLAS

**Fuente.** Ramde Solids Control. Modificado por los autores.

#### 4. COMPARACIÓN LAS MALLAS PIRAMIDALES DE LAS ZARANDAS HYPERPOOL CON RESPECTO A LAS MALLAS PLANAS DE LAS ZARANDAS MONGOOSE, TENIENDO EN CUENTA LOS DATOS OBTENIDOS EN CAMPO

Una vez realizado las pruebas correspondientes de la perforación de la segunda sección 12 ¼" de los pozos Castilla 216 y Castilla 416 con las mallas correspondientes, se llevará acabo los diferentes cálculos y análisis requeridos para comparar el desempeño de estas mallas en la perforación de esta sección.

##### 4.1 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS

A continuación, se muestra la comparación de los resultados obtenidos de cada prueba de las mallas piramidales y planas, para su debido análisis.

**4.1.1 Humedad de los recortes.** En la **Tabla 25** se observa los resultados promedios obtenidos de las mallas piramidales y planas, utilizadas en la perforación de la segunda sección.

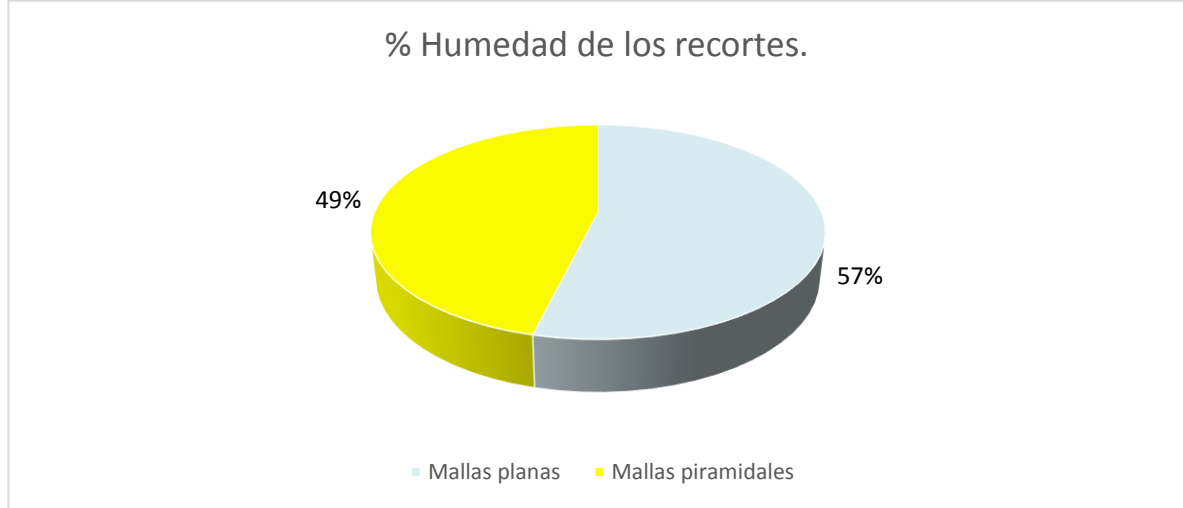
**Tabla 25** Comparación del porcentaje de humedad de los recortes.

Prueba /Mallas	Mallas piramidales.	Mallas planas
% Humedad de los recortes.	49.2 %	57.4 %

**Fuente.** Ramde Solids Control. Modificado por los autores.

En la **Gráfica 3** se observa, que los sólidos separados por las mallas planas tuvieron una humedad aproximada del 57.4%, mientras los recortes separados por las mallas piramidales tuvieron una humedad del 49.2%, haciendo un 8.2% de diferencia entre estas dos mallas, indicando una mejor recuperación de fluido con la implementación de mallas piramidales.

**Grafica 3.** Comparación del porcentaje de humedad de los recortes



**4.1.2 Densidad.** En la **Tabla 26** se observa los resultados promedios obtenidos de la densidad de lodo entrando a la zaranda vibratoria, la densidad de descarga líquida y la densidad de descarga sólida, de cada tipo de malla a comparar.

**Tabla 26** Comparación de la eficiencia de remoción de sólidos

Pruebas/Malla	Malla piramidal	Malla plana
Densidad de lodo entrando. (Libra masa/galones)	11.71	11.58
Densidad de descarga líquida. (Libra masa/galones)	11.51	11.47
Densidad de descarga sólida. (Libra masa/galones)	17.4	15.68

**Fuente.** Ramde Solids Control. Modificado por los autores.

En la tabla anterior se observa que la malla piramidal logra disminuir la densidad del fluido en un 0.2 libra masa por galón, en cambio la malla plana logra disminuir la densidad en un 0.11 libra masa por galón, indicando que la malla piramidal tuvo más eficiencia en remover los sólidos indeseables que la malla plana.

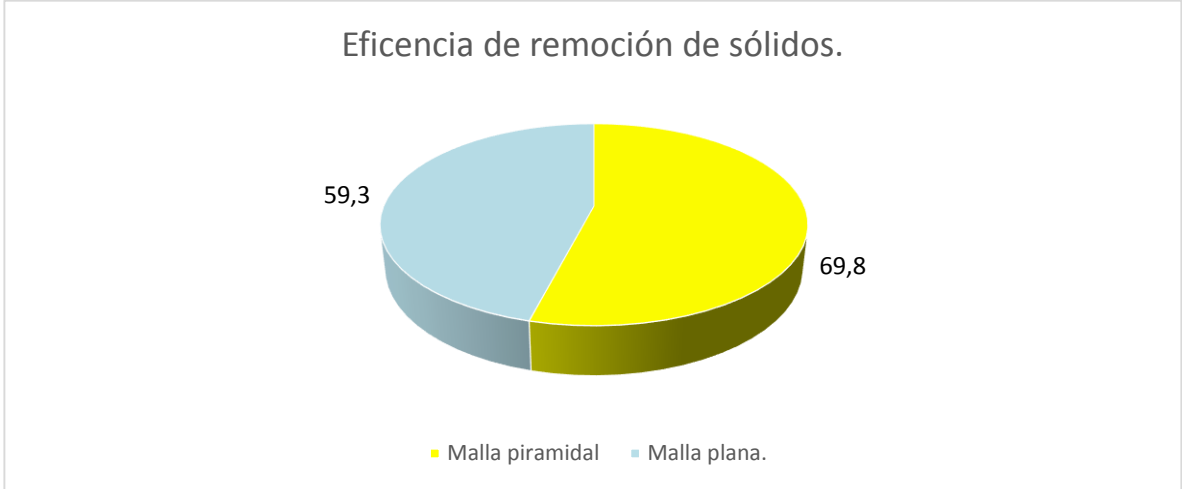
**4.1.3 Remoción de sólidos.** En la **Tabla 27** se evidencia los resultados promedios de la eficiencia de remoción de sólidos de las mallas piramidales y planas.

**Tabla 27** Comparación de la eficiencia de remoción de sólidos

Pruebas/Malla	Malla piramidal	Malla plana
% Eficiencia de remoción de sólidos	69.8%	59.3%

**Fuente.** Ramde Solids Control. Modificado por los autores.

**Grafica 4.** Comparación de la eficiencia de remoción de sólidos



En la **Gráfica 4** se evidencia que la malla plana tiene una eficiencia de remoción de sólidos indeseados del 59.3%, mientras que la malla piramidal tiene una eficiencia de remoción del 69.8%, generando una diferencia del 9.5%, lo que puede representar una vida más larga a los equipos de perforación, por retirar más sólidos.

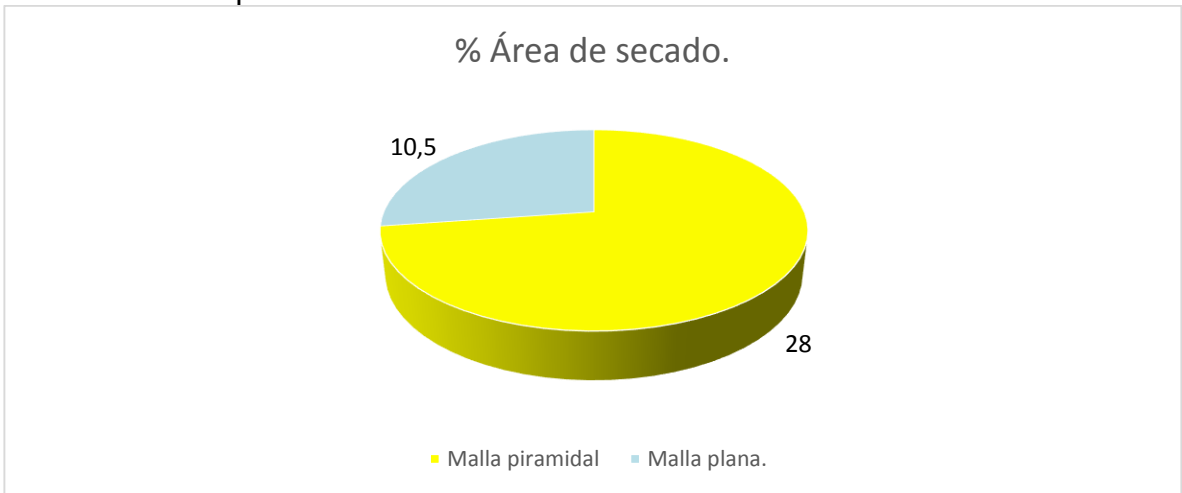
**4.1.4 Área de secado.** En la **tabla 28** se evidencia los resultados promedios del área de secado de las mallas piramidales y planas.

**Tabla 28** Comparación del área de secado.

Pruebas/Malla	Malla piramidal	Malla plana
% Área de secado	28	10.5

**Fuente.** Ramde Solids Control. Modificado por los autores.

**Grafica 5.** Comparación del área de secado



En la **Grafica 5** se observa que la malla plana tiene 10.5% de área de secado aproximadamente durante la perforación de la segunda sección, mientras que la malla piramidal tiene un área de secado aproximadamente de 28%, generando una diferencia de 17.5%, lo que significa que hay mayor recuperación del fluido de perforación y disminución de costos.

**4.1.5 Cantidad de mallas.** Se sabe que en el Pozo Castilla 416 se utilizaron 14 mallas piramidales para el control de sólidos primarios durante la perforación de 5658 pies con un promedio de 405 pies por malla, y en el Pozo Castilla 216 se utilizaron 21 mallas planas durante la perforación de 6316 pies con un promedio de 301 pies por malla. Con esto se puede decir que para el control de sólidos primario en la perforación de 5658 pies en el Pozo Castilla 216 se utilizaron en promedio 19 mallas planas. En la **Tabla 29** se muestra las mallas utilizadas para la perforación de la segunda sección 12 ¼” del pozo Castila 416 y Castilla 216.

**Tabla 29** Comparación de cantidad de mallas

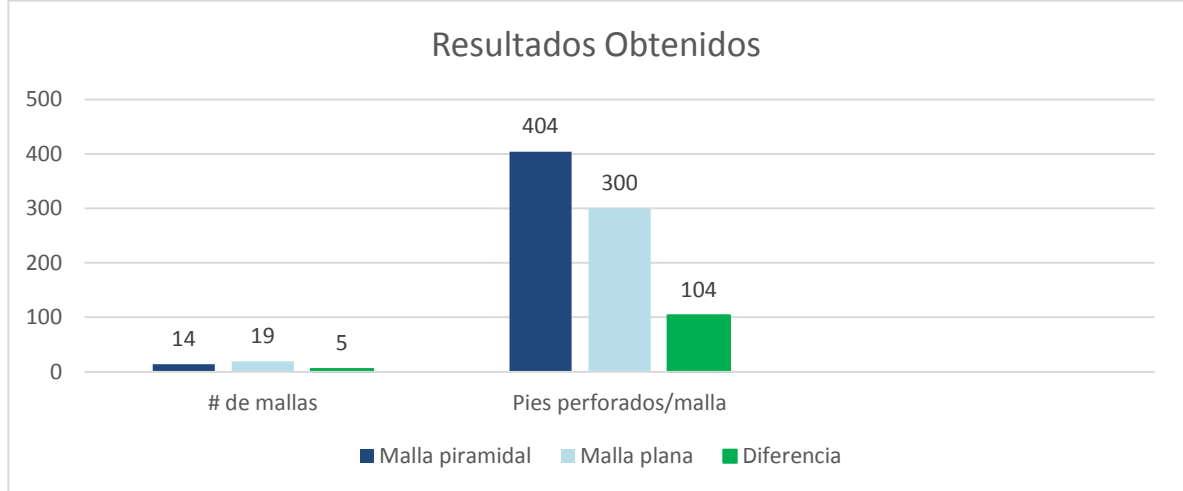
Mallas/parámetros	# de mallas	Pies perforados	Pies promedio perforados en la sección para ser dispuesto por Malla
Malla piramidal	14	5658	404
Malla plana	19	5658	300

**Fuente.** Ramde Solids Control. Modificado por los autores.

En la **Gráfica 6** se observa que durante la perforación de la segunda sección del Pozo Castilla 416 se utilizaron 14 mallas piramidales, mientras que para la perforación de la misma sección del Pozo Castilla 216, se utilizaron 19 mallas planas, generando una diferencia de cinco mallas, lo que indica un incremento del 26,31% con respecto a las mallas planas. La malla piramidal puede tratar cortes generados durante la perforación de 404 pies promedios de formación y la malla plana solo puede hacer el proceso para los cortes generados durante la perforación de 300 pies promedio de formación, lo que indica que la malla piramidal está en la capacidad de tratar un 25,74% (104 pies) de más.



**Grafica 6.** Comparación de cantidad de mallas



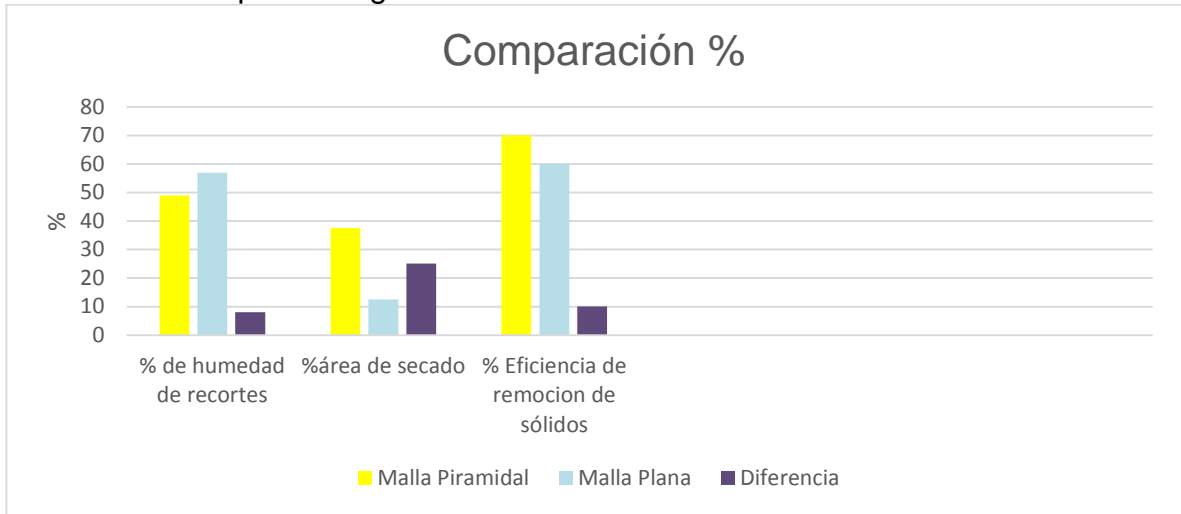
**4.2 Comparación general.** A continuación, se muestra en la **Tabla 30** los resultados obtenidos de las pruebas de cada tipo de malla utilizadas.

**Tabla 30** Comparación general

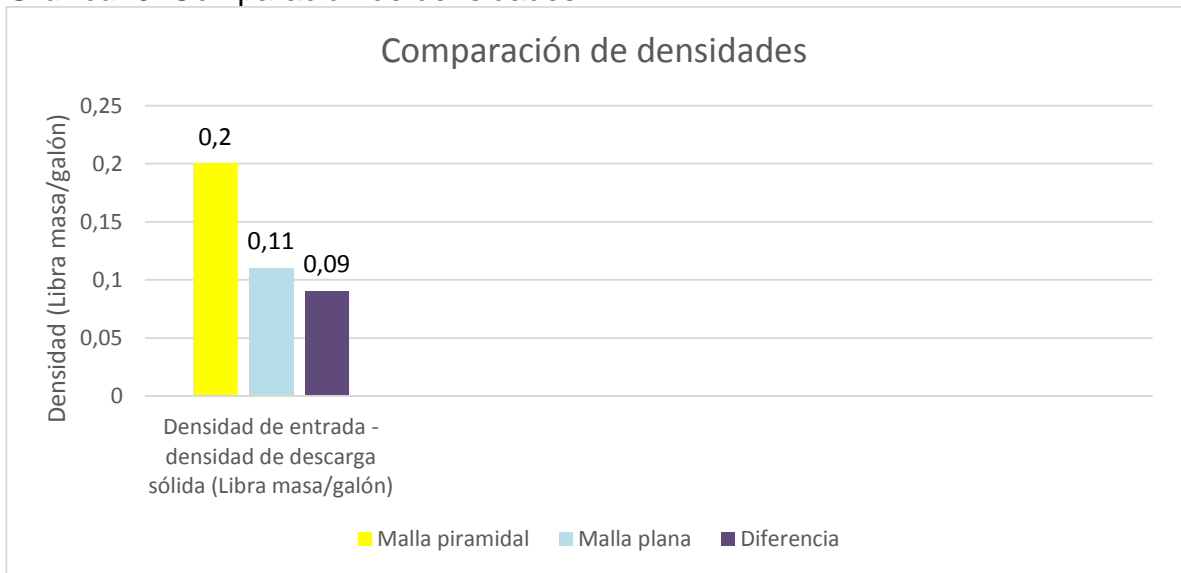
Prueba/Mallas	Malla Piramidal	Malla plana	Diferencia
% de humedad de recortes	49.2 %	57.4 %	8.2
Densidad de lodo entrando. (Libra masa/galones)	11.71	11.58	N/A
Densidad de descarga líquida. (Libra masa/galones)	11.51	11.47	N/A
Densidad de descarga sólida. (Libra masa/galones)	17.4	15.68	1.72
% Área de secado	28	10.5	17.5
% Eficiencia de remoción de sólidos	69.8%	59.3%	10.5

**Fuente.** Ramde Solids Control. Modificado por los autores.

**Grafica 7. Comparación general**



**Grafica 8. Comparación de densidades**



En la **Gráfica 7** se representan los resultados obtenidos de las pruebas realizadas por la empresa Ramde Solids Control, donde se comprueba que las mallas piramidales utilizadas en la zaranda Hyperpool son más eficientes que las mallas planas utilizadas en la zaranda vibratoria Mongoose, debido a que en el porcentaje de humedad de los recortes, la malla plana registra un 57 % mientras que la malla piramidal registra un 49 %, indicando que hay mayor pérdida de fluido en la malla plana por tener un porcentaje humedad más alta.

En cuanto a la densidad del fluido de perforación, en la **Gráfica 8** se puede observar que la malla piramidal logra disminuir la densidad de este en un 0.2 libra masa por galón a diferencia de la malla plana que disminuye la densidad del fluido en un 0.11 libra masa por galón, presentando que hay mayor posibilidad de que los equipos de perforación sufran desgastes por los sólidos indeseables. La malla piramidal, a pesar de utilizar mayor caudal, supera en el porcentaje del área de secado en un 17.5%, a la malla plana. Y en la eficiencia de remoción de sólidos se evidencio que la malla piramidal remueve el 9.5% de sólidos indeseables más que la malla plana, donde también se evidencia en la disminución de la densidad del fluido.

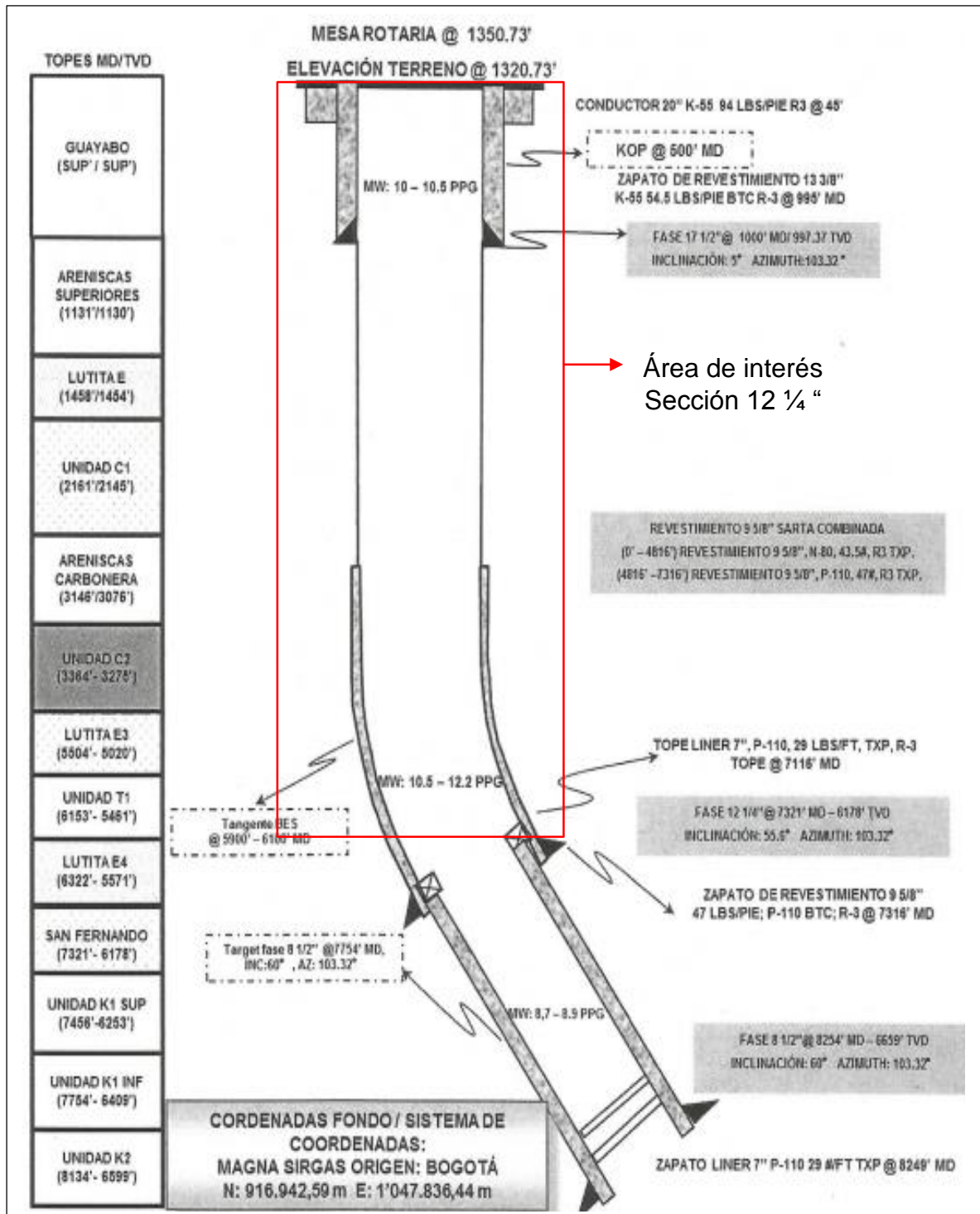
## 5. ESTUDIO FINANCIERO

El Campo Castilla presenta una ineficiencia en los equipos primarios de control de sólidos, dado que las zarandas Mongoose PT instaladas para tratar los cortes de perforación obtenidos de la segunda sección de 12 ¼" (**Ver figura 23**) del campo, utilizan mallas planas, donde se evidencia un resultado ineficiente en la remoción de sólidos en los cortes de perforación, lo cual ocasiona problemas mecánicos en el pozo y en las propiedades del fluido de perforación.

Para la solución de dicho problema, la empresa prestadora de servicios Ramde Solids Control, propone implementar las mallas piramidales en los equipos primarios de control de sólidos para la perforación de la segunda sección de 12 ¼" del Campo Castilla. Después de analizar técnicamente las ventajas que presenta el uso de mallas piramidales, con las cuales se logran cortes de perforación más secos y una mayor remoción, dando como resultado un ahorro en la preparación del fluido de perforación, estabilización de los cortes y mallas utilizadas en la perforación de la sección; se debe determinar la viabilidad financiera de la implementación de éstas en las actividades de perforación del Campo Castilla.

Para la evaluación de la viabilidad financiera del proyecto se utiliza como unidad monetaria de valor constante el dólar estadounidense (USD) y una tasa interés de oportunidad (TIO) de 8% efectivo anual. El análisis se realiza con horizonte de tiempo de seis meses, periodo promedio durante el cual se perforan seis pozos en el Campo Castilla, cada pozo con un tiempo de perforación de un mes, y bajo la metodología de Valor Presente, utilizando un análisis de los costos de operación en dos escenarios.

**Figura 23.** Estado Mecánico. Pozo Castilla 216



**Fuente.** ECOPEPETROL S.A. formato Programa de Perforación. Modificado por los autores. 2016

## 5.1 ANÁLISIS DE COSTOS DE OPERACIÓN

Para llevar a cabo la evaluación financiera del proyecto, se tienen que analizar los costos de operación de cada escenario. Se tendrá en cuenta los costos de mallas a utilizar, el costo de fluido de perforación y el costo de estabilización de los recortes. Para ninguno de los escenarios se tendrá en cuenta el costo del taladro de perforación, personal y los equipos secundarios de control de sólidos ya que no varía con el tipo de malla a utilizar. A continuación, en la **Tabla 31** se describe los costos unitarios.

Debido a que la empresa Ramde Solids Control fabrica las mallas, no se da inversión en el proyecto, por lo tanto, no presenta CAPEX (inversión inicial).

**Tabla 31** Costos unitarios

Descripción	USD
Mallas piramidales	573,00
Mallas planas	393,00
Fluido de perforación/barril de fluido	57,00
Estabilizador de recortes/barril de fluido	1,05

**Fuente.** RAMDE SOLIDS CONTROL. Costos unitarios. Modificada por los autores. 2017

En la **Tabla 31** se describe la campaña de perforación en la segunda sección de 12 1/4" de los seis pozos en el Campo Castilla. Esta sección va de los 1000 a 6658 pies de profundidad (5658 pies perforados).

**Tabla 32** Campaña de perforación

Periodos (mensuales)	# de pozos
1	1
2	1
3	1
4	1
5	1
6	1

**Fuente.** RAMDE SOLIDS CONTROL. Costos de perforación. Modificada por los autores. 2017

**5.1.1 Escenario 1.** En este escenario se implementa el uso de las mallas planas en zarandas vibratorias Mongoose de los equipos primarios de control de sólidos, para la perforación de la segunda sección 12 1/4" de los pozos, para la campaña de perforación. Se sabe que se utilizaron 21 mallas para la perforación de 6316 pies, con 301 pies promedio perforados por malla, debido que durante la campaña se perforan 5658 pies de formación en cada pozo, la cantidad de mallas planas utilizadas para el control de sólidos primario para esta campaña será de 19 mallas por pozo. A continuación, se describe los costos por pozos y por periodos.

**Tabla 33** Costo por pozo del escenario 1

Descripción	Costo unitario (USD)	Cantidad	USD
Mallas planas	393,00	19	7.467
Fluido de perforación/barril	57,00	5.247	299.101
Estabilizador de recortes/barril	1,05	3.578	3.757
<b>TOTAL</b>			<b>310.325</b>

**Fuente.** RAMDE SOLIDS CONTROL. Costo por pozo. Modificada por los autores. 2017

**Tabla 34** Costos de operación escenario 1

Periodos (mensuales)	Costo/pozo	# de pozos	USD
1	310.325	1	310.325
2	310.325	1	310.325
3	310.325	1	310.325
4	310.325	1	310.325
5	310.325	1	310.325
6	310.325	1	310.325

**Fuente.** RAMDE SOLIDS CONTROL. Costos de operación. Modificada por los autores. 2017

**5.1.2 Escenario 2.** En este escenario se implementa el uso de las mallas piramidales en zarandas vibratorias Hyperpool de los equipos primarios de control de sólidos, para la perforación de la segunda sección 12 1/4" de los pozos, para la campaña de perforación. A continuación, se describe los costos por pozos y por periodos.

**Tabla 35** Costo por pozo del escenario 2

Descripción	Costo unitario (USD)	Cantidad	USD
Mallas piramidal	573,00	14	8.022
Fluido de perforación/barril	57,00	5.061	288.477
Estabilizador de recortes/barril	1,05	3.391	3.561
<b>TOTAL</b>			<b>300.060</b>

**Fuente.** RAMDE SOLIDS CONTROL. Costos unitarios. Modificada por los autores. 2017

**Tabla 36** Costos de operación en la campaña de perforación del escenario 2

Periodos (mensuales)	Costo/pozo	# de pozos	USD
1	300.060	1	300.060
2	300.060	1	300.060
3	300.060	1	300.060
4	300.060	1	300.060
5	300.060	1	300.060
6	300.060	1	300.060

**Fuente.** RAMDE SOLIDS CONTROL. Costos unitarios. Modificada por los autores. 2017

## 5.2 EVALUACIÓN FINANCIERA

Este capítulo tiene como propósito, establecer la viabilidad financiera de la implementación de las mallas piramidales con respecto a las mallas planas en el Campo Castilla mediante la metodología del Valor Presente Neto (VPN).

El valor presente neto es uno de los indicadores financieros más utilizados, ya que pone los ingresos y egresos futuros a presentes, utilizando una tasa de descuento que es la más alta que un inversionista sacrifica, facilitando la decisión de realizar o no el proyecto.

Para realizar este análisis se utiliza la siguiente formula.

### **Ecuación 2** Determinación Matemática del Valor Presente Neto

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

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

Dónde:

- $i$  tasa de interés de oportunidad (TIO),
- $F$  flujos de caja en cada período
- $n$  período de tiempo.

Como se utiliza la metodología del Valor Presente Neto (VPN), su resultado se interpreta como a dólares de hoy, cuánto vale el proyecto.



La tasa de interés de oportunidad (TIO), es la tasa de interés más alta que un inversionista sacrifica con el objeto de realizar un proyecto. Teniendo en cuenta que los periodos del proyecto son mensuales, y la tasa de interés de oportunidad es anual, se debe convertir a periodos mensuales.

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

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

$$TIO = 0.64 \% \text{ Mensual}$$

### 5.3 FLUJO DE CAJA

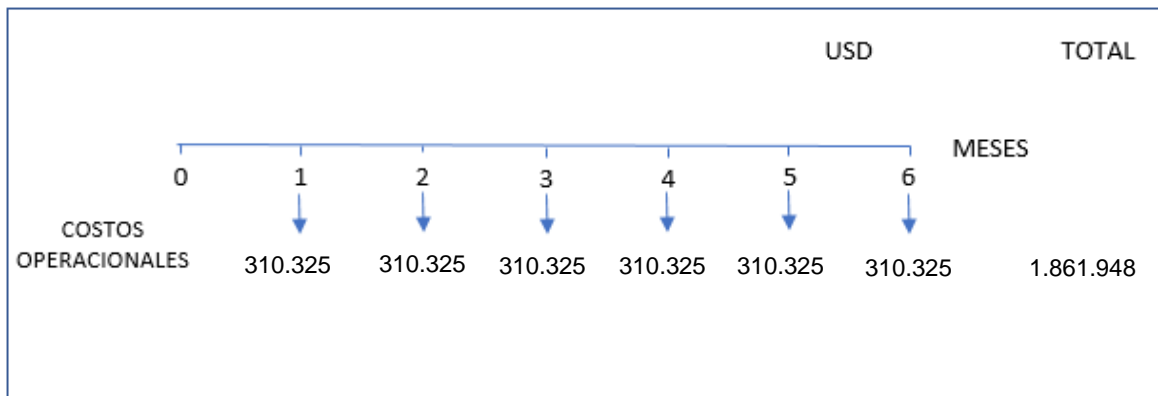
El flujo de caja también conocido como flujo de efectivo, es el cálculo de los ingresos y de egresos, que ocurren en una empresa durante un determinado periodo.

Debido a que el proyecto contempla únicamente egresos para los dos escenarios, el término final a evaluar es el Valor Presente de cada uno de ellos, determinando que el de menor valor es el que más le conviene a la operadora.

A continuación, se muestra el flujo de efectivo para el escenario uno y dos con el valor presente neto de la campaña de perforación.

**5.3.1 Escenario 1.** En la **Gráfica 9** se muestra el flujo de caja de este escenario.

**Grafica 9.** Flujo de caja del escenario 1



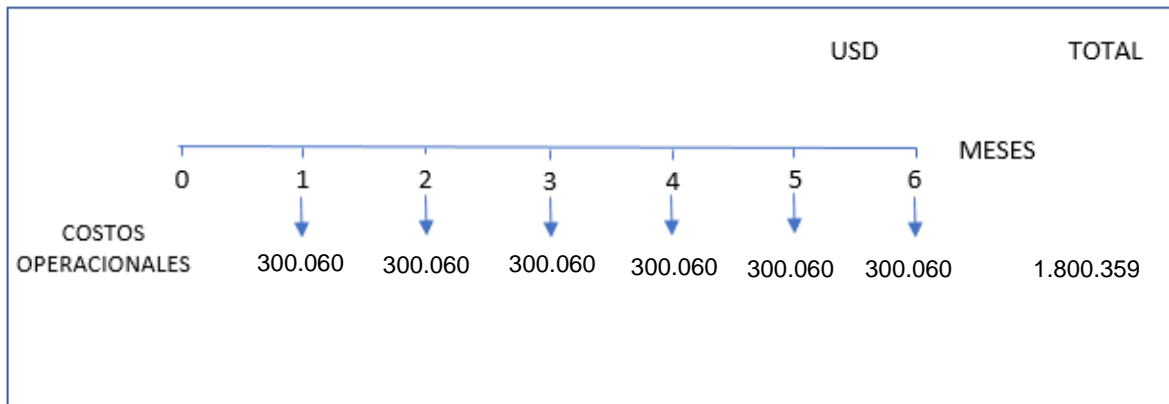
$$VPN(0.0064) = \frac{310.325}{(1 + 0.0064)^1} + \frac{310.325}{(1 + 0.0064)^2} + \frac{310.325}{(1 + 0.0064)^3} + \frac{310.325}{(1 + 0.0064)^4} + \frac{310.325}{(1 + 0.0064)^5} + \frac{310.325}{(1 + 0.0064)^6}$$

$$VPN(0.0064) = 308.340,72 + 306.369,52 + 304.410,94 + 302.464,87 + 300.531,24 + 298.609,98$$

Valor Presente del Escenario 1 = USD 1.820.727.26

**5.3.2 Escenario 2.** En la **Gráfica 10** se representa el flujo de caja de este escenario para esta campaña de perforación.

**Gráfica 10.** Flujo de caja del escenario 2



A continuación, se observa el cálculo del VPN para este escenario.

$$VPN(0,0064) = \frac{300.060}{(1 + 0,0064)^1} + \frac{300.060}{(1 + 0,0064)^2} + \frac{300.060}{(1 + 0,0064)^3} + \frac{300.060}{(1 + 0,0064)^4} + \frac{300.060}{(1 + 0,0064)^5} + \frac{300.060}{(1 + 0,0064)^6}$$

$$VPN(0.0064) = 298.141,63 + 296.235,64 + 294.341,84 + 292.460,14 + 290.590,47 + 288.732,756$$

*Valor Presente del Escenario 2 = USD 1.760.502,47*

*Valor Presente del Escenario 1 = USD 1.820.727.26*

*Valor Presente del Escenario 2 = USD 1.760.502,47*

*AHORRO = USD 1.820.727.26 – USD 1.760.502,47 = USD 60.224,79*

#### **5.4 CONCLUSIÓN DE LA EVALUACIÓN FINANCIERA**

Desde el punto de vista financiero, para la empresa operadora Ecopetrol S.A, la mejor opción para la próxima campaña de perforación durante los próximos seis meses es implementar las mallas piramidales en los equipos primarios de control de sólidos, ya que le representa un ahorro en costos a dólares de hoy de **USD 60.224,79**, que corresponde al 3,31%, frente a las mallas planas, y se observa que a nivel de costos operacionales, se presenta una disminución, generando una ganancia superior.

## 6. CONCLUSIONES

- Con base en la información recopilada se sugiere el uso de mallas piramidales, debido a que presentan mayor remoción de sólidos en el fluido de perforación, indicando una mayor eficiencia al momento de retirarlos.
- Al realizar la comparación entre las características de caudal y área de secado entre la malla piramidal y malla plana, se determinó que la malla plana tiene un área de secado menor (9,5%) que la piramidal, manejando una diferencia de caudal de solo 43 galones por minuto, indicando que la malla piramidal tiene más área para que los sólidos logren secarse.
- El uso de mallas piramidales logra disminuir la humedad en los recortes de perforación en un 8,2% (182 Barriles del fluido de perforación), con respecto a la malla plana.
- La malla piramidal logra disminuir la densidad del fluido de perforación en 0,1 libra por galón más que la malla plana, indicando que hubo más sólidos retirados.
- Después de realizar el análisis del valor presente de los costos para la campaña de perforación, de los dos escenarios, se determinó que financieramente, es viable la implementación de las mallas piramidales en el Campo Castilla ya que el ahorro de la campaña es de USD 60.224,79 que corresponde al 3,31% frente a las mallas planas.

## 7. RECOMENDACIONES

- Evaluar la implementación de mallas piramidales en el limpiador de lodo con el Mesh apropiado para el efecto de remoción de sólidos.
- Realizar mantenimientos periódicos y preventivos a la zaranda vibratoria del taladro para asegurar su efectivo funcionamiento con las mallas piramidales.
- Se recomienda aplicar mallas piramidales de un Mesh de 100 para la efectiva remoción de sólidos para la sección 8 ½”.
- Realizar un estudio enfocado al impacto ambiental que tienen los cortes de perforación retirados por los equipos primarios de control de sólidos, teniendo en cuenta el tipo de fluido de perforación que se utilizó en la operación.

## BIBLIOGRAFIA

AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS. Asignación de áreas. 2007. [En Línea]. Disponible en: <http://www.anh.gov.co/Asignacion-de-areas/Procedimientos-de-Seleccion/Procesos%20Anteriores/ronda2007/interna28aa.html?id=95> [citado el 9 de noviembre de 2017]

AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS. Sistema integrado de operaciones. Estadísticas de producción. 2017. [En Línea]. Disponible en: <http://www.anh.gov.co/Operaciones-Regalias-y-Participaciones/Sistema-Integrado-de-Operaciones/Paginas/Estadisticas-de-Produccion.aspx> [Citado 19 de noviembre de 2017]

ANH. Area crudos pesados. [En Línea]. Disponible en: [http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Estudios-Integrados-y-Modelamientos/Presentaciones%20y%20Poster%20Tcnicos/Informe\\_de\\_Propectividad.pdf](http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Estudios-Integrados-y-Modelamientos/Presentaciones%20y%20Poster%20Tcnicos/Informe_de_Propectividad.pdf) [citado el 12 de noviembre de 2017]

ANH. Integración Geológica de la Digitalización y Análisis de Núcleos. [En Línea]. Disponible en: <http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Tesis/5.%20Informe%20Final%20Llanos.pdf> [citado el 12 de noviembre de 2017]

ANH. Sistema Integrado de Operaciones. Estadísticas de producción. [En línea]. Disponible en: <http://www.anh.gov.co/Operaciones-Regalias-y-Participaciones/Sistema-Integrado-de-Operaciones/Paginas/Estadisticas-de-Produccion.aspx> [Citado 19 de noviembre de 2017]

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DEL PETRÓLEO. Informe estadístico petrolero. Hoja Prod x campo bpdc [en línea]. Disponible en: <https://www.acp.com.co/index.php/es/publicaciones-e-informes/informe-estadistico-petrolero-iep> [Citado 9 de noviembre de 2017].

BACA C., Guillermo. Ingeniería Económica: Valor presente neto. Editorial educativa. Octava edición. 2005. p.

DERRICK. HYPERPOOL SHAKER SGX MOTOR: Maintenance & Operation Manual. Derrick Equipment Company. Houston, Texas, 2013.

DINERO. Campo Castilla alcanzó producción récord de 100.403 barriles diarios. [En línea]. Disponible en: <http://www.dinero.com/negocios/articulo/campo-castilla-alcanzo-produccion-record-100043-barriles-diarios/97641> [Citado 9 de noviembre de 2017].

ECOPETROL. Campo de producción Castilla alcanzó nuevo récord de producción. [En Línea]. Disponible en: <http://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/nuestra-empresa/sala-de-prensa/boletines-de-prensa/Boletines%202015/Boletines%202015/campo-produccion-Castilla-alcanzo-nuevo-record-produccion> [citado el 9 de noviembre de 2017]  
ECOPETROL. Castilla recargado. [En Línea]. Disponible en: [http://www.ecopetrol.com.co/especiales/carta\\_petrolera/empresa.htm](http://www.ecopetrol.com.co/especiales/carta_petrolera/empresa.htm) [citado el 9 de noviembre de 2017]

EL TIEMPO. “Castilla y Chichimene pasarán a Ecopetrol”. [En línea] Disponible en: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-1240507>. [Citado el 9 de noviembre de 2017]

EL TIEMPO. Ecopetrol perforará 12 pozos en el Campo de Castilla la Nueva, en el meta. [En línea]. Disponible en: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-1519991> [Citado 9 de noviembre de 2017]

Google maps. Ruta Bogota -. Castilla, la Nueva. [En Línea]. Disponible en: <https://www.google.com.co/maps/dir/Bogot%C3%A1/Castilla+La+Nueva,+Meta/@4.2688994,-74.4557396,9z/data=!3m1!4b1!4m13!4m12!1m5!1m1!1s0x8e3f9bfd2da6cb29:0x239d635520a33914!2m2!1d-74.072092!2d4.7109886!1m5!1m1!1s0x8e3e10d297ffc24b:0x79d4e098446fa1ea!2m2!1d-73.690164!2d3.827834> [citado el 28 de septiembre de 2017]

INDUPETROL. Campo Castilla. [En Línea]. Disponible en: <http://200.116.42.67/blogsuts/indupetrolcolombia/files/2014/05/CAMPO-CASTILLA-1.pdf> [Citado 13 de noviembre de 2017].

INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA INGEOMINAS. Acuerdo Especifico N° 022. 2008. GEOLOGÍA DEL PIEDEMONTE LLANERO EN LA CORDILLERA ORIENTAL, DEPARTAMENTOS DE ARAUCA Y CASANARE. [En Línea]. Disponible en: [http://aplicaciones1.sgc.gov.co/Bodega/i\\_vector/230/08/0100/24561/documento/pdf/2105245611101000.pdf](http://aplicaciones1.sgc.gov.co/Bodega/i_vector/230/08/0100/24561/documento/pdf/2105245611101000.pdf) [citado el 12 de noviembre de 2017]

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. NTC 1486. Sexta actualización. Bogotá D.C. 2008.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Referencias bibliográficas. Contenido, forma y estructura. NTC 5613. Segunda actualización. Bogota D.C. 2008.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Referencias documentales para fuentes de información electrónicas. NTC 4490. Bogota D.C. 1998.

International Commission on Stratigraphy. International Chronostratigraphic Chart. 2017.

LEGUIZAMO, Rodrigo. LEGUIZAMO OCHOA, Daniel Rodrigo. Manual de Entrenamiento Básico para el Sistema de Control de Sólidos. Bogota: *Solids Control School*, 2015.

MI SWACO. Installation, Operation, and Maintenance Manual: Mongoose PT Mud Cleaner. Per Assembly. Houston, TX, 2015.

MOJICA, Rafael. El petróleo en el departamento del Meta 1859 – 2011. En: la actividad petrolera en el siglo xx en el Meta: revista científica Guarracuco, 2011, No. 136 [En Línea]. Disponible en: [https://issuu.com/comunicacionesyprensa/docs/rev\\_15](https://issuu.com/comunicacionesyprensa/docs/rev_15) [citado el 9 de noviembre de 2017]

PORTLLO, Javier. Fundamentos del Control de Sólidos. [Diapositivas]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/javierportillo100/curso-de-control-de-slidos> [Citado 15 de septiembre de 2017].

RAMDE SOLIDS CONTROL. INSTRUCTIVO PARA LA DETERMINACION DE LA REMOCION DE SÓLIDOS EN LOS SHAKERS. 2017.



## **ANEXOS**

# ANEXO A

## API RP 13C (ISO 13501)

API Sand = 74-250 Microns					
API Designation (micron range)	Existing Screen Name	API D100 Cut Point (micron)	API Conductance (kd/mm)		
			PWP	PMD	PMD+
API 200 (>69.0 to 82.5)	Brandt® VNM RHD 330	70	1.01		
	Global DX 250	70	0.65		
	Mi Swaco® XR 325C	71	0.81		
	Mi Swaco HC 270C	72	1.10		
	Mi Swaco XL 270C	74	0.91		
	Derrick® DF-A200	76	0.74	1.07	1.40
	Brandt BHX XF 250	78	0.72		
	Derrick DX-A200	78	0.79	1.30	1.56
	Brandt BHX RHD 330	80	0.67		
	Brandt V100/300 XF250	80	0.71		
	Derrick HP-A200	81	0.72	1.11	1.54
	Brandt V100/300 RHD 330	82	0.64		
Brandt VNM XF 250	82	1.23			
API 170 (>82.5 to 98.0)	Brandt BHX RHD 300	83	0.93		
	Derrick HP-A170	83	0.93	1.46	2.05
	Global GS200	84	0.61		
	Mi Swaco XR 270C	86	0.84		
	Brandt VNM XF 230	91	1.14		
	Brandt VNM RHD 300	92	1.33		
	Brandt V100/300 XF 230	93	0.75		
	Brandt V100/300 RHD 280	94	1.1		
	Brandt BHX XF 230	95	0.87		
	Derrick DX-A170	97	0.98	1.48	2.01
Global GS250	98	1.09			
API 140 (>98.0 to 116.5)	Brandt BHX XF 210	102	0.94		
	Brandt BHX RHD 280	102	0.99		
	Derrick HP-A140	103	1.06	1.85	2.50
	Derrick DF-A140	104	0.78	0.94	1.20
	Brandt VNM XF 210	107	1.45		
	Mi Swaco XR 230C	110	0.99		
	Brandt V100/300 XF 210	110	1.0		
	Mi Swaco XL 165C	111	1.49		
	Brandt V100/300 XF 175	114	1.15		
	Derrick DX-A140	115	1.10	1.67	2.24
	Brandt V100/300 RHD 225	115	1.28		
	Brandt VNM RHD 280	115	1.59		
	Global GS210	116	1.08		
API 120 (>116.5 to 137.5)	Brandt BHX XF 175	117	1.35		
	Brandt VNM RHD 255	117	1.70		
	Mi Swaco XR 200C	118	1.40		
	Mi Swaco HC 230C	120	1.61		
	Derrick DX-A120	120	1.39	1.78	2.14
	Derrick HP-A120	120	1.25	2.33	2.94
	Derrick DF-A120	121	0.88	1.17	1.54
	Brandt VNM XF 175	126	2.05		
	Brandt BHX RHD 255	129	1.17		
	Brandt V100/300 XF 140	137	1.35		
	Brandt V100/300 RHD 215	137	1.58		
	API 100 (>137.5 to 165.0)	Brandt V100/300 XF 120	139	1.32	
Mi Swaco XL 120C		140	2.17		
Brandt BHX XF 140		141	1.40		
Mi Swaco HC 200C		142	1.96		
Brandt BHX RHD 215		143	1.56		
Derrick DF-A100		143	1.21	1.48	2.08
Mi Swaco XR 165C		147	1.65		
Derrick HP-A100		151	1.46	2.57	3.63
Brandt VNM RHD 215		152	2.03		
Brandt VNM XF 140		153	1.97		
Derrick DX-A100		154	1.36	2.30	2.85
Global GS175		156	1.43		
Brandt V100/300 RHD 180		162	2.24		
Brandt BHX RHD 180		164	1.72		
Brandt VNM RHD 180	164	2.46			
API 80 (>165.0 to 196.0)	Mi Swaco XR 120C	174	2.00		
	Mi Swaco XL 105C	174	2.00		
	Brandt BHX XF 110	176	1.88		
	Derrick DX-A80	184	1.53	2.45	3.08
	Derrick HP-A80	184	1.94	3.20	4.35
	Brandt VNM XF 110	186	2.58		
	Brandt V100/300 XF 110	188	1.75		
	Brandt VNM RHD 145	192	2.85		
	Brandt V100/300 RHD 145	193	2.62		
Brandt BHX RHD 145	193	2.18			

\*Derrick, DX, DF and HP are trademarks and/or registered trademarks of Derrick Corporation  
 \*Brandt is a registered trademark and RHD, VNM, BHX are trademarks of Varco, L.P., A Division of National Oilwell Varco  
 \*Swaco is a registered trademark of M.I.L.L.C., A Division of M.I.L.L.C.  
 \*XR, XL and XF are registered trademarks of Southwest Wire Cloth  
 \*DX and GS may trademarked to Global Wire Cloth L.L.C.

### API RP 13C (ISO 13501) Cut Point Numbers

for Various Shale Shaker  
Replacement Screens

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

#### D100 Separation and API Screen Number

D100 Separation (Microns)	API Screen Number
>780,0 to 925,0	API 20
>655,0 to 780,0	API 25
>550,0 to 655,0	API 30
>462,5 to 550,0	API 35
>390,0 to 462,5	API 40
>327,5 to 390,0	API 45
>275,0 to 327,5	API 50
>231,0 to 275,0	API 60
>196,0 to 231,0	API 70
>165,0 to 196,0	API 80
>137,5 to 165,0	API 100
>116,5 to 137,5	API 120
>98,0 to 116,5	API 140
>82,5 to 98,0	API 170
>69,0 to 82,5	API 200
>58,0 to 69,0	API 230
>49,0 to 58,0	API 270
>41,5 to 49,0	API 325
>35,0 to 41,5	API 400
>28,5 to 35,0	API 450
>22,5 to 28,5	API 500
>18,5 to 22,5	API 635


All information in this document was derived from independent lab testing or from information in the public domain on or before March 1, 2008.

DISTRIBUIDOR EXCLUSIVO  
EN COLOMBIA DE

INVENTARIO DE MALLAS LOCAL  
 BOG PBX: (571) 805 1533 • HOU PBX: (713) 609-9802  
 marketing@ramde.net

15630 Export Plaza Drive - Houston, Texas 77032  
 Toll Free: (866) DERRICK  
 Phone: (281) 590-3003 • Fax: (281) 442-6948  
 Email: derrick@derrickequipment.com  
 www.DerrickEquipment.com


**ANEXO B**  
**PORCENTAJE DE HUMEDAD**

	<b>INSTRUCTIVO PARA LA DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD EN EL CORTE</b>		Código: <b>GPS-IN-002</b>
	Versión: <b>01</b>	Fecha: <b>Octubre de 2017</b>	Página: <b>1 de 4</b>

MODIFICACIONES			
VERSIÓN	CONTENIDO DE LA MODIFICACIÓN	PAGINA MODIFICADA	FECHA DE APROBACIÓN
01	Creación del Documento	-	Octubre de 2017

Documento Controlado

Elaboró:  <hr style="width: 80%; margin: 0 auto;"/> <p style="text-align: center;">Coordinador Control de Solidos</p>	Revisó:  <hr style="width: 80%; margin: 0 auto;"/> <p style="text-align: center;">Gerente Control de Solidos</p>	Aprobó:  <hr style="width: 80%; margin: 0 auto;"/> <p style="text-align: center;">Representa Legal</p>
---	--	--

	<b>INSTRUCTIVO PARA LA DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD EN EL CORTE</b>		Código: <b>GPS-IN-002</b>
	Versión: <b>01</b>	Fecha: <b>Octubre de 2017</b>	Página: <b>2 de 4</b>

### 1. OBJETO

Determinar mediante una medición de rutina y a través de un método cuantitativo, el porcentaje de humedad del corte descartado por el equipo de control de sólidos.

### 2. ALCANCE


Este procedimiento inicia desde la toma de la muestra del corte descartado en el equipo de control de sólidos hasta la obtención del resultado cuyas unidades son porcentaje (%).

### 3. DEFINICIONES:

**PORCENTAJE DE HUMEDAD:** Es el contenido de líquido expresado en porcentaje en volumen que está presente en el corte removido por el equipo de control de sólidos. Directamente nos determina el contenido de fluido de perforación que se pierde con el desecho sólido.

**RETORTA DE LODO:** Equipo con capacidad de calefacción que se usa para determinar la cantidad de sólidos y líquidos contenidos en un fluido de perforación. Se coloca una muestra de lodo o corte (retortas de 10, 20 o 50 ml están disponibles) dentro del vaso y se añade la tapa para expulsar parte del líquido o corte. Esto garantiza un volumen correcto. La muestra es calentada hasta que los componentes líquidos se vaporicen. Los vapores pasan a través de un condensador y se recogen en un cilindro graduado (probeta de 10, 20 o 50 ml). El volumen de líquido (agua) se mide directamente en mililitros y se expresa en porcentaje dividiendo los mililitros leídos por la capacidad (volumen) de la retorta. Los sólidos suspendidos y disueltos son determinados restando de 100% el porcentaje de líquido obtenido.



	<b>INSTRUCTIVO PARA LA DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD EN EL CORTE</b>		Código: <b>GPS-IN-002</b>
	Versión: <b>01</b>	Fecha: <b>Octubre de 2017</b>	Página: <b>3 de 4</b>

**PROBETA:** Vaso de vidrio en forma tubular generalmente graduado que se usa para medir líquidos.

**CONDENSADOR:** Es un intercambiador térmico que convierte la fase gaseosa (vapor) en fase líquida mediante el intercambio de calor con otro medio.

**JARRA DE LODO:** Recipiente plástico aforado el cual se usa para la recolección de muestras de lodo.

**LODO O FLUIDO DE PERFORACION:** Es un fluido compuesto por una mezcla de aditivos químicos que le proporcionan propiedades fisicoquímicas idóneas a las condiciones operativas.

**INFORME:** Describe las cualidades, las características y el contexto de algún hecho.


#### 4. RESPONSABLES

Es responsabilidad de dar cumplimiento al presente instructivo el personal Técnico e Ingenieros de campo de Ramde Solids Control.

#### 5. METODOLOGÍA

Para la determinación del **porcentaje de humedad** en el corte removido por el equipo de control de sólidos siga los siguientes pasos:

1. Tome una muestra representativa (compuesta y un volumen de 350 ml) del corte removido por el equipo de control de sólidos.
2. Deje que la muestra se enfríe a la temperatura ambiente.
3. Desmonte la retorta y lubrique las roscas del vaso de muestra con grasa para altas temperaturas.
4. Llene el vaso de muestra con el corte a probar casi hasta el nivel máximo.
5. Coloque la tapa del vaso de muestra girando firmemente y escurriendo el exceso de corte para obtener el volumen exacto (se requiere un volumen de 10, 20 o 50 ml).
6. Limpie el fluido derramado sobre la tapa y las roscas.
7. Llene la cámara de expansión superior con virutas finas de acero (esponjilla) y luego atornille el vaso de muestra a la cámara de expansión. Las virutas de acero deben atrapar los sólidos extraídos por ebullición. Mantener el montaje vertical para evitar que el corte fluya dentro del tubo de drenaje.

	<b>INSTRUCTIVO PARA LA DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD EN EL CORTE</b>		Código: <b>GPS-IN-002</b>
	Versión: <b>01</b>	Fecha: <b>Octubre de 2017</b>	Página: <b>4 de 4</b>

8. Introduzca y atornille el tubo de drenaje dentro del orificio en la extremidad del condensador, asentándolo firmemente. El cilindro graduado que está calibrado para leer en porcentajes debería estar sujetado al condensador con abrazaderas.
9. Conecte el cable de alimentación en el voltaje correcto y mantenga la unidad encendida hasta que el indicador de temperatura marque los 950 °F.
10. Mantenga el equipo encendido por 10 min a la temperatura de 950 °F.
11. Apague la retorta y deje enfriar el destilado a la temperatura ambiente.
12. Lea los mililitros de destilado y divídalos entre los mililitros de la capacidad de la retorta. A este resultado multiplíquelo por 100 dando así el porcentaje de humedad que tiene el corte removido.
13. Deje enfriar completamente, limpie y seque el montaje de retorta.
14. Los residuos de corte obtenido deposítelos en el tanque contenedor de los cortes de perforación.
15. Circule un producto limpiador de tubos a través del orificio del condensador y del tubo de drenaje de la retorta para limpiar y mantener íntegro el calibre de los orificios.
16. Registre el resultado obtenido (%).

**NOTA:** Para la realización de los pasos anteriormente descritos es muy importante usar los siguientes EPP: Guantes de látex, Gafas de seguridad y Mascarilla facial.


## 6. REFERENCIAS

- El contrato o subcontrato
- Especificaciones técnicas.
- Normatividad aplicable
- Manual del SIG aplicable
- Procedimiento de acciones correctivas, preventivas y de producto no conforme. [SIG-P-003](#).

## 7. REGISTROS

- Recolección de datos en campo
- Reporte de No Conformidades [SIG-F-007](#)


**ANEXO C**  
**DENSIDAD**

	<b>INSTRUCTIVO PARA LA DETERMINACION DE LA DENSIDAD EN EL LODO</b>		Código: <b>GPS-IN-001</b>
	Versión: <b>01</b>	Fecha: <b>Octubre de 2017</b>	Página: <b>1 de 4</b>

<b>MODIFICACIONES</b>			
<b>VERSIÓN</b>	<b>CONTENIDO DE LA MODIFICACIÓN</b>	<b>PAGINA MODIFICADA</b>	<b>FECHA DE APROBACIÓN</b>
01	Creación del Documento	-	Octubre de 2017

Documento Controlado

Elaboró:  <hr style="width: 80%; margin: 0 auto;"/> <p style="text-align: center;">Coordinador Control de Solidos</p>	Revisó:  <hr style="width: 80%; margin: 0 auto;"/> <p style="text-align: center;">Gerente Control de Solidos</p>	Aprobó:  <hr style="width: 80%; margin: 0 auto;"/> <p style="text-align: center;">Representa Legal</p>
---	--	--

	<b>INSTRUCTIVO PARA LA DETERMINACION DE LA DENSIDAD EN EL LODO</b>		Código: <b>GPS-IN-001</b>
	Versión: <b>01</b>	Fecha: <b>Octubre de 2017</b>	Página: <b>2 de 4</b>

### 1. OBJETO

Determinar mediante una medición de rutina y a través de un método cuantitativo, la densidad (peso del lodo) del fluido de perforación procesado en el equipo de control de sólidos.

### 2. ALCANCE

Este procedimiento inicia desde la toma de la muestra del fluido de perforación en el equipo de control de sólidos hasta la obtención del resultado cuyas unidades son libras por galón (lb/gal).


### 3. DEFINICIONES:

**DENSIDAD DEL LODO:** La densidad del lodo se define como el peso de lodo por unidad de volumen y depende de la cantidad y gravedad específica de los fluidos de la fase continua y de los sólidos y fluidos de la fase dispersa. Se expresa en lb/gal a 21 °C (70 °F) y se mide con una balanza de lodo de suficiente precisión para obtener mediciones con un margen de error de 0,1 lb/gal. Es muy importante ya que la presión hidrostática originada por la columna de lodo es función de la densidad.

**BALANZA DE LODO:** La balanza de lodo (ver figura) se compone principalmente de una base sobre la cual descansa un brazo graduado con un vaso, tapa, cuchillo, nivel de burbuja de aire, caballero y contrapeso. Se coloca el vaso de volumen constante en un extremo del brazo graduado, el cual tiene un contrapeso en el otro extremo. El vaso y el brazo oscilan perpendicularmente al cuchillo horizontal, el cual descansa sobre el soporte, y son equilibrados desplazando el caballero a lo largo del brazo.





	<b>INSTRUCTIVO PARA LA DETERMINACION DE LA DENSIDAD EN EL LODO</b>		Código: <b>GPS-IN-001</b>
	Versión: <b>01</b>	Fecha: <b>Octubre de 2017</b>	Página: <b>3 de 4</b>

**JARRA DE LODO:** Recipiente plástico aforado el cual se usa para la recolección de muestras de lodo.

**LODO O FLUIDO DE PERFORACION:** Es un fluido compuesto por una mezcla de aditivos químicos que le proporcionan propiedades fisicoquímicas idóneas a las condiciones operativas.

**INFORME:** Describe las cualidades, las características y el contexto de algún hecho.

#### 4. RESPONSABLES

Es responsabilidad de dar cumplimiento al presente instructivo el personal Técnico e Ingenieros de campo de Ramde Solids Control.


#### 5. METODOLOGÍA

Verifique la **calibración de la Balanza de lodo**. Para ello:

1. Retire la tapa del vaso y llene completamente el vaso con agua pura o agua destilada.
2. Vuelva a colocar la tapa en el vaso y seque con un trapo la humedad externa de la tapa y el vaso.
3. Coloque el brazo de la balanza sobre la base con el cuchillo descansando sobre el punto de apoyo.
4. La burbuja de nivel debería estar centrada cuando el caballero está en 8,33 lb/gal.

Para la determinación de la **densidad** en el fluido de perforación procesado en el equipo de control de solidos siga los siguientes pasos:

1. Tome una muestra representativa (compuesta y un volumen de 350 ml) de lodo en la alimentación del equipo de control de sólidos.
2. Quite la tapa del vaso y llene completamente el vaso con el lodo a probar.
3. Vuelva a poner la tapa y gírela hasta que esté firmemente asentada, asegurándose que parte del lodo sea expulsado a través del agujero de la tapa.
4. Limpie el lodo que está fuera del vaso y seque el vaso.
5. Coloque el brazo de la balanza sobre la base, con el cuchillo descansando sobre el punto de apoyo.
6. Desplace el caballero hasta que el nivel de burbuja de aire indique que el brazo graduado está nivelado.
7. En el borde del caballero más cercano al vaso, lea la densidad o el peso del lodo.
8. Registre el resultado obtenido (lb/gal o ppg).

	<b>INSTRUCTIVO PARA LA DETERMINACION DE LA DENSIDAD EN EL LODO</b>		<b>Código:</b> <b>GPS-IN-001</b>
	<b>Versión: 01</b>	<b>Fecha: Octubre de 2017</b>	<b>Página: 4 de 4</b>

9. Adicione la muestra de lodo a los tanques y limpie la balanza y la jarra de lodos.
10. Tome una muestra representativa (compuesta y un volumen de 350 ml) de lodo en la descarga líquida del equipo de control de sólidos.
11. Repita los pasos 2 a 9.

**NOTA:** Para la realización de los pasos anteriormente descritos es muy importante usar los siguientes EPP: Guantes de látex, Gafas de seguridad y Mascarilla facial.

#### 6. REFERENCIAS


- El contrato o subcontrato
- Especificaciones técnicas.
- Normatividad aplicable
- Manual del SIG aplicable
- Procedimiento de acciones correctivas, preventivas y de producto no conforme. [SIG-P-003](#).

#### 7. REGISTROS

- Recolección de datos en campo
- Reporte de No Conformidades [SIG-F-007](#)

Documento Controlado


**ANEXO D**  
**REMOCIÓN DE SÓLIDOS**

	<b>INSTRUCTIVO PARA LA DETERMINACION DE LA REMOCION DE SOLIDOS EN LOS SHAKERS</b>		Código: <b>GPS-IN-003</b>
	Versión: <b>01</b>	Fecha: <b>Octubre de 2017</b>	Página: <b>1 de 4</b>

MODIFICACIONES			
VERSIÓN	CONTENIDO DE LA MODIFICACIÓN	PAGINA MODIFICADA	FECHA DE APROBACIÓN
01	Creación del Documento	-	Octubre de 2017

Documento Controlado

Elaboró:  <hr style="width: 80%; margin: 0 auto;"/> <p style="text-align: center;">Coordinador Control de Sólidos</p>	Revisó:  <hr style="width: 80%; margin: 0 auto;"/> <p style="text-align: center;">Gerente Control de Sólidos</p>	Aprobó:  <hr style="width: 80%; margin: 0 auto;"/> <p style="text-align: center;">Representa Legal</p>
---	--	--

	<b>INSTRUCTIVO PARA LA DETERMINACION DE LA REMOCION DE SOLIDOS EN LOS SHAKERS</b>		Código: <b>GPS-IN-003</b>
	Versión: <b>01</b>	Fecha: <b>Octubre de 2017</b>	Página: <b>2 de 4</b>

### 1. OBJETO

Determinar mediante una medición de rutina y a través de un método cuantitativo, el porcentaje de remoción de sólidos para un determinado API de mallas que se realiza en los shakers.

### 2. ALCANCE

Este procedimiento inicia desde la toma de la muestra del fluido de perforación en los shakers hasta la obtención del resultado cuyas unidades porcentaje (%).

### 3. DEFINICIONES:

**REMOCION DE SOLIDOS:** Es la cantidad de solidos expresada en porcentaje (%) que son retirados del fluido de perforación debido a la acción del trabajo efectuado por el equipo de control de sólidos.


**TAMICES:** Es un utensilio de forma circular, formado por un aro y una trama metálica muy fina, utilizado para separar las partes finas de las gruesas.



Documento Controlado

**SHAKERS:** Es el dispositivo principal y quizás más importante del equipo de perforación para remover los sólidos perforados del lodo. La separación de los sólidos. Está compuesta por una tela metálica la cual vibra mientras el lodo fluye por esta separando la fase líquida del lodo y los sólidos más pequeños y reteniendo los sólidos más grandes los cuales son descartados por la parte posterior del dispositivo.

**JARRA DE LODO:** Recipiente plástico aforado el cual se usa para la recolección de muestras de lodo.

	<b>INSTRUCTIVO PARA LA DETERMINACION DE LA REMOCION DE SOLIDOS EN LOS SHAKERS</b>		Código: <b>GPS-IN-003</b>
	Versión: <b>01</b>	Fecha: <b>Octubre de 2017</b>	Página: <b>3 de 4</b>

**LODO O FLUIDO DE PERFORACION:** Es un fluido compuesto por una mezcla de aditivos químicos que le proporcionan propiedades fisicoquímicas idóneas a las condiciones operativas.

**INFORME:** Describe las cualidades, las características y el contexto de algún hecho.


#### 4. RESPONSABLES

Es responsabilidad de dar cumplimiento al presente instructivo el personal Técnico e Ingenieros de campo de Ramde Solids Control.

#### 5. METODOLOGÍA

Para la determinación de la **remoción de solidos de acuerdo al API de la malla** en los shakers siga los siguientes pasos:

1. Tome una muestra representativa (compuesta y un volumen de 350 ml) de lodo en la alimentación de los shakers.
2. Seleccione el tamiz ASTM que corresponde a la malla instalada en los shakers.
3. Inspeccione el tamiz en búsqueda de defectos que puedan afectar el análisis. Es decir daños en la malla, desechos u obstrucción en la malla.
4. En la casilla de "Alimentación" registre el número de tamiz seleccionado y su apertura en micrones.
5. En la casilla de "Alimentación" registre el volumen de la muestra seleccionada, el cual es 350 ml.
6. Pese el tamiz vacío y registre su peso (lb) en la casilla de "Alimentación".
7. Lave el tamiz con agua (lodo WBM) o diésel (lodo OBM) y coloque el tamiz sobre el área seca de uno de los shakers.
8. Vierta lentamente los 350 ml de la muestra a través de tamiz hasta que no se vean sólidos en el recipiente que recolecto la muestra. Si quedan solidos adicione agua (lodo WBM) o diésel (lodo OBM) al recipiente para diluir los sólidos y vierta nuevamente esta dilución.
9. Limpie suavemente el tamiz y pese el tamiz con los sólidos recolectados. Registre su peso (lb) en la casilla de "Alimentación".
10. Lave el tamiz y séquelo.
11. Inspeccione el tamiz de acuerdo al paso 3.
12. Tome una muestra representativa (compuesta y un volumen de 350 ml) de lodo en la descarga líquida del equipo de control de sólidos.
13. En la casilla "Descarga líquida" registre el número de tamiz seleccionado y su apertura en micrones.

	<b>INSTRUCTIVO PARA LA DETERMINACION DE LA REMOCION DE SOLIDOS EN LOS SHAKERS</b>		Código: <b>GPS-IN-003</b>
	Versión: <b>01</b>	Fecha: <b>Octubre de 2017</b>	Página: <b>4 de 4</b>

14. En la casilla de "Descarga líquida" registre el volumen de la muestra seleccionada, el cual es 350 ml.
15. Pese el tamiz vacío y registre su peso (lb) en la casilla de "Descarga líquida".
16. Repita los pasos 7, 8 y 9 pero registre el peso con los sólidos recolectados en la casilla "Descarga líquida".
17. El formato "Prueba de análisis de tamiz" directamente da el porcentaje de remoción de sólidos de acuerdo al API de la malla.
18. Registre el resultado obtenido en (%).
19. Lave el tamiz y séquelo.
20. Lave la jarra recolectora y séquela.


**NOTA:** Para la realización de los pasos anteriormente descritos es muy importante usar los siguientes EPP: Guantes de látex, Gafas de seguridad y Mascarilla facial.

## 6. REFERENCIAS

- El contrato o subcontrato
- Especificaciones técnicas.
- Normatividad aplicable
- Manual del SIG aplicable
- Procedimiento de acciones correctivas, preventivas y de producto no conforme. [SIG-P-003](#).

## 7. REGISTROS

- Recolección de datos en campo
- Prueba de análisis de tamiz ASTM.
- Reporte de No Conformidades [SIG-F-007](#)

 Fundación Universidad de América	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Julio - 2016


## AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL LUMIERES




Nosotros Sebastian Botero Galindo y Lizeth Juliana Tovar Granados en calidad de titulares de la obra, 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, elaborada en el año 2017 , autorizamos al **Sistema de Bibliotecas de la Fundación Universidad América** para que incluya una copia, indexe y divulgue en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres, la obra mencionada con el fin de facilitar los procesos de visibilidad e impacto de la misma, conforme a los derechos patrimoniales que nos corresponden y que incluyen: la reproducción, comunicación pública, distribución al público, transformación, en conformidad con la normatividad vigente sobre derechos de autor y derechos conexos (Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, entre otras).

Al respecto como Autores manifestamos conocer que:

- La autorización es de carácter no exclusiva y limitada, esto implica que la licencia tiene una vigencia, que no es perpetua y que el autor puede publicar o difundir su obra en cualquier otro medio, así como llevar a cabo cualquier tipo de acción sobre el documento.
- La autorización tendrá una vigencia de cinco años a partir del momento de la inclusión de la obra en el repositorio, prorrogable indefinidamente por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales del autor y podrá darse por terminada una vez el autor lo manifieste por escrito a la institución, con la salvedad de que la obra es difundida globalmente y cosechada por diferentes buscadores y/o repositorios en Internet, lo que no garantiza que la obra pueda ser retirada de manera inmediata de otros sistemas de información en los que se haya indexado, diferentes al Repositorio Digital Institucional – Lumieres de la Fundación Universidad América.
- La autorización de publicación comprende el formato original de la obra y todos los demás que se requiera, para su publicación en el repositorio. Igualmente, la autorización permite a la institución el cambio de soporte de la obra con fines de preservación (impreso, electrónico, digital, Internet, intranet, o cualquier otro formato conocido o por conocer).
- La autorización es gratuita y se renuncia a recibir cualquier remuneración por los usos de la obra, de acuerdo con la licencia establecida en esta autorización.
- Al firmar esta autorización, se manifiesta que la obra es original y no existe en ella ninguna violación a los derechos de autor de terceros. En caso de que el trabajo haya sido financiado por terceros, el o los autores asumen la responsabilidad del cumplimiento de los acuerdos establecidos sobre los derechos patrimoniales de la obra.
- Frente a cualquier reclamación por terceros, el o los autores serán los responsables. En ningún caso la responsabilidad será asumida por la Fundación Universidad de América.
- Con la autorización, la Universidad puede difundir la obra en índices, buscadores y otros sistemas de información que favorezcan su visibilidad.

Conforme a las condiciones anteriormente expuestas, como autores establecemos las siguientes condiciones de uso de nuestra obra de acuerdo con la **licencia Creative Commons** que se señala a continuación:

 Fundación Universidad de América	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Julio - 2016

	Atribución- no comercial- sin derivar: permite distribuir, sin fines comerciales, sin obras derivadas, con reconocimiento del autor.	X
	Atribución – no comercial: permite distribuir, crear obras derivadas, sin fines comerciales con reconocimiento del autor.	
	Atribución – no comercial – compartir igual: permite distribuir, modificar, crear obras derivadas, sin fines económicos, siempre y cuando las obras derivadas estén licenciadas de la misma forma.	

Licencias completas: [http://co.creativecommons.org/?page\\_id=13](http://co.creativecommons.org/?page_id=13)

Siempre y cuando se haga alusión de alguna parte o nota del trabajo, se debe tener en cuenta la correspondiente citación bibliográfica para darle crédito al trabajo y a sus autores.

De igual forma como autores autorizamos la consulta de los medios físicos del presente trabajo de grado así:

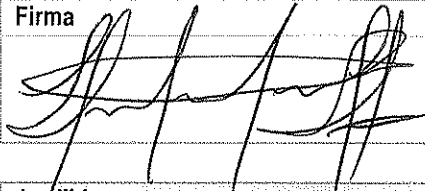
AUTORIZAMOS	SI	NO
La consulta física (sólo en las instalaciones de la Biblioteca) del CD-ROM y/o Impreso	X	
La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer para efectos de preservación	X	

Información Confidencial: este Trabajo de Grado contiene información privilegiada, estratégica o secreta o se ha pedido su confidencialidad por parte del tercero, sobre quien se desarrolló la investigación. En caso afirmativo expresamente indicaremos, en carta adjunta, tal situación con el fin de que se respete la restricción de acceso.	SI	NO
		X

Para constancia se firma el presente documento en Bogotá, a los 30 días del mes de Enero del año 2018.

#### LOS AUTORES:

##### Autor 1

<b>Nombres</b>	<b>Apellidos</b>
Sebastian	Botero Galindo
<b>Documento de identificación No</b>	<b>Firma</b>
1110571664	

<b>Nombres</b>	<b>Apellidos</b>
Lizeth Juliana	Tovar Granados
<b>Documento de identificación No</b>	<b>Firma</b>
1020763632	