

PLANTEAMIENTO DE UNA ALTERNATIVA PARA LA PUESTA EN MARCHA DE
UN SISTEMA QUE PERMITA LA SEPARACIÓN Y DISPOSICIÓN FINAL DE LOS
CORTES INDUSTRIALES DE PERFORACIÓN, EN EL CAMPO CASTILLA DE
ECOPETROL S.A.

XIOMAR VANESSA CASTILLO VEGA
SERGIO DAVID SÁENZ MORENO

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

2017

PLANTEAMIENTO DE UNA ALTERNATIVA PARA LA PUESTA EN MARCHA DE
UN SISTEMA QUE PERMITA LA SEPARACIÓN Y DISPOSICIÓN FINAL DE LOS
CORTES INDUSTRIALES DE PERFORACIÓN, EN EL CAMPO CASTILLA DE
ECOPETROL S.A.

XIOMAR VANESSA CASTILLO VEGA
SERGIO DAVID SÁENZ MORENO

Proyecto Integral de grado para optar por el título de
INGENIERO QUÍMICO
INGENIERO DE PETRÓLEOS

DIRECTOR

Msc. Eliana Mesa Ramírez

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

2017

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del Presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá, febrero de 2017

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 Posgrado

DRA. ANA JOSEFA HERRERA VARGAS

Secretario General

DR. JUAN CARLOS POSADA GARCÍA-PEÑA

Decano de Facultad de Ingenierías

DR. JULIO CÉSAR FUENTES ARISMENDI

Director Programa de Ingeniería Química

ING. LEONARDO DE JESÚS HERRERA GUTIÉRREZ

Director Programa de Ingeniería de Petróleos (E)

DR. EDGAR DAVID CEDEÑO LIGARRETO

Director de Investigaciones

DR. ARMANDO FERNÁNDEZ

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.

Agradezco a Dios por permitirme cumplir esta meta; a mi mamá porque a lo largo de estos años de estudio ha sido mi fuerza, con su amor y apoyo incondicional, a mi hermano por su asesoría durante toda mi carrera y ser un ejemplo a seguir, a mi novio y colega por su ayuda y apoyo durante este proyecto, a mis amigos y cada una de las personas que me apoyaron para que este trabajo fuera posible.

XIOMAR VANESSA CASTILLO VEGA

Agradezco especialmente a Dios por acompañarme en este largo proceso de aprendizaje y lograr culminar este objetivo; a mis padres quienes, a lo largo de mi vida con su sabiduría y visión de vida, me han aconsejado y apoyado en cada uno de los diferentes momentos que se han presentado; a mi hermano, familiares, amigos y cada una de las personas que me apoyaron para la elaboración de este trabajo de grado.

SERGIO DAVID SÁENZ MORENO

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos:

A ECOPETROL S.A, TECSOTROL S.A.S y SERINCO DRILLING S.A por brindarnos la información necesaria para llevar a cabo el trabajo de grado.

A la FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA por la formación obtenida como profesionales en las áreas de Ingeniería Química e Ingeniería de petróleos.

A TECNOPARQUE por la oportunidad de desarrollar parte de nuestro proyecto con sus servicios.

A la MSC. ELIANA MESA RAMÍREZ, por su compromiso, tiempo y ayuda durante el desarrollo de todo el proyecto.

A los Ingenieros, Carlos Arrieta, John Castillo y Ermis Santospor su apoyo y asesoría durante este proceso.

A los ingenieros, Andrea Lache, Carlos Espinoza, William Palacios y Rafael Siado, por su ayuda técnica en el desarrollo del proyecto.

A todas aquellas personas que nos dieron la oportunidad de realizar este trabajo de grado, por su dedicación, colaboración y apoyo incondicional.

CONTENIDO

pág.

OBJETIVOS	32
1. GENERALIDADES DEL CAMPO CASTILLA	33
1.1 CUENCA DE LOS LLANOS ORIENTALES	33
1.1.1 Localización.	33
1.2 GEOLOGÍA DEL CAMPO CASTILLA	34
1.2.1 Localización Geológica	34
1.2.2 Estratigrafía.	34
1.2.3 Geología del petróleo	39
1.3 PROCESO DE PERFORACIÓN EN EL POZO DE ESTUDIO	40
1.3.1 Fase 17 ½”	41
1.3.2 Fase 12 ¼”	41
1.3.3 Fase 8 ½”	41
1.4 MANEJO Y DISPOSICIÓN DE LOS CORTES RESIDUALES INDUSTRIALES DE PERFORACIÓN	42
1.5 CARACTERÍSTICAS DE UN CORTE OBTENIDO DEL SISTEMA DE CONTROL DE SÓLIDOS DE CAMPO CASTILLA	43
1.6 PLAN DE PERFORACION DE ECOPETROL 2016-2020	44
2. MARCO TEÓRICO	46
2.1 FLUIDOS DE PERFORACIÓN	46
2.1.1 Propiedades de los fluidos de perforación	46
2.1.2 Funciones de los fluidos de perforación	47
2.1.3 Clasificación de los fluidos de perforación	48
2.1.3.1 Lodos en base agua	49

2.1.3.2 Lodos en Emulsión de Aceite	50
2.2 CORTES DE PERFORACIÓN	50
2.2.1 Generación de los cortes de perforación	51
2.2.1.1 Composición de los cortes de perforación	52
2.3 MÉTODOS DE CONTROL DE SÓLIDOS EN EL FLUIDO DE PERFORACIÓN	52
2.3.1 Método de separación mecánica	53
2.3.2 Método de separación química	53
2.4 EQUIPO MECÁNICO DE REMOCIÓN DE SÓLIDOS	53
2.4.1 Zarandas vibratorias	55
2.4.1.1 Funcionamiento	55
2.4.1.2 Parámetros y variables de una zaranda	55
2.4.2 Mallas de las Zarandas	58
2.4.2.1 Punto de corte.	58
2.4.2.2 Finura de la malla o mesh	58
2.4.2.3 Tipo de mallas	58
2.4.2.4 Tamaño de la abertura	60
2.4.2.5 Porcentaje de área abierta	60
2.4.2.6 Capacidad de flujo	61
2.4.3 Zarandas de doble piso	61
2.4.4 Hidrociclones	63
2.4.4.1 Funcionamiento	63
2.4.4.2 Parámetros y variables de los hidrociclones	64
2.4.5 Limpiador de lodo (mud cleaner)	67
2.4.5.1 Aplicaciones del mud cleaner	68
2.4.6 Centrífuga decantadora	69
2.4.6.1 Funcionamiento	69
2.4.6.2 Parámetros y variables de la centrífuga	70
2.5 SISTEMAS EXISTENTES DE ACUERDO AL TIPO DE FLUIDO DE PERFORACION	71

2.5.1 Sistema de control de sólidos fluido de perforación liviano	71
2.5.2 Sistema de control de sólidos fluido de perforación pesado	72
2.5.3 Sistema de control de sólidos para un fluido de perforación químicamente modificado	72
2.6 TRATAMIENTOS QUÍMICOS PARA EL MANEJO DE LOS CORTES DE PERFORACIÓN	73
2.6.1 Estabilización-solidificación	74
2.6.2 Dewatering	74
2.7 TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS PARA EL MANEJO DE LOS CORTES DE PERFORACIÓN	74
2.8 TRATAMIENTOS TÉRMICOS PARA EL MANEJO DE LOS CORTES DE PERFORACIÓN	75
2.9 TRATAMIENTOS PARA DISPOSICIÓN FINAL DE LOS CORTES DE PERFORACIÓN	77
2.9.1 Tipos de disposición final para los cortes de perforación.	77
2.10 MARCO LEGAL	78
3. CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DE LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN Y CORTES INDUSTRIALES DE PERFORACIÓN	82
3.1 ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN	82
3.1.1 Fluido de perforación spud mud.	82
3.1.2 Fluido de perforación BOREMAX®	87
3.1.3 Fluido de perforación BARANDRILL- N®.	90
3.2 ANÁLISIS FÍSICO DE LOS CORTES DE PERFORACIÓN RESULTANTES EN EL CAMPO DE ESTUDIO	92
3.3 VOLUMEN ESTIMADO DE CORTES DE ACUERDO A LA SECCIÓN PERFORADA	97
4. SELECCIÓN DE PARÁMETROS DE UN SISTEMA DE	

CONTROL DE SÓLIDOS	99
4.1 CÁLCULO DE PARAMÉTROS VARIABLES	99
4.1.1 Zaranda	100
4.1.1.1 Parámetros de operación.	100
4.1.1.2 Variables de operación	104
4.1.2 Mud cleaner	104
4.1.2.1 Parámetros de operación	105
4.1.2.2 Variables de operación	110
4.1.3 Centrífuga decantadora	111
4.1.3.1 Parámetros de operación.	111
4.1.3.2 Variables de operación	115
4.1.4 Tanques de lodo	116
4.1.4.1 Parámetros de operación	116
5. PLANTEAMIENTO DEL SISTEMA DE CONTROL DE SÓLIDOS	118
5.1 METODOLOGÍA DEL PLANTEAMIENTO	118
5.2 PLANTEAMIENTO DE SISTEMA	118
5.3 MANUAL OPERATIVO DEL SISTEMA	120
5.3.1 Zaranda	120
5.3.2 Mud Cleaner	121
5.3.3 Centrífuga decantadora	124
5.4 SIMULACIÓN Y BALANCE DE MASA.	126
5.4.1 Sección 1 (fluido de perforación spud mud)	128
5.4.2 Sección 2 (fluido de perforación Boremax)	129
5.4.3 Sección 3 (fluido de perforación Barandril-N).	131
5.5 BALANCE DE MASA	133
5.5.1 Balance de masa para el tratamiento del fluido spud mud	133
5.5.2 Balance de masa para el tratamiento del fluido Boremax	146
5.5.3 Balance de masa para el tratamiento de fluido Barandril-N	160

5.6 CONSUMO ENERGÉTICO DEL SISTEMA PROPUESTO	173
5.7 DISPOSICIÓN DE LOS CORTES DE PERFORACIÓN	173
6. ESTADO ACTUAL DE COSTOS	176
6.1 SISTEMA DE CONTROL DE SÓLIDOS UTILIZADO EN EL POZO A	178
6.2 SISTEMA DE CONTROL DE SÓLIDOS PROPUESTO	180
6.3 DIFERENCIA ENTRE LOS SISTEMAS	181
6.4 Plan de implementación para Ecopetrol	184
7. CONCLUSIONES	186
8. RECOMENDACIONES	188
BIBLIOGRAFÍA	189
ANEXOS	192

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Diagrama de pozo y fluido utilizado en cada sección.	42
Cuadro 2. Funciones del fluido de perforación.	47
Cuadro 3. Composición de los cortes de perforación.	52
Cuadro 4. Tipos de vibración en la zaranda.	55
Cuadro 5. Tipos de mallas	59
Cuadro 6. Tipos de descarga del hidrociclón	64
Cuadro 7. Técnicas empleadas para el tratamiento biológico.	74
Cuadro 8. Tratamientos térmicos para el manejo de cortes de perforación.	76
Cuadro 9. Tipos disposición final de cortes.	77
Cuadro 10. Marco legal ambiental pertinente para el proyecto.	79
Cuadro 11. Clasificación de los sedimentos.	96
Cuadro 12. Comparación entre zarandas	100
Cuadro 13. Criterios de selección para el tipo de malla.	101
Cuadro 14. Aspectos para la selección del mesh de la malla.	102
Cuadro 15. Mesh de la malla para cada sección.	102
Cuadro 16. Criterio de selección para el caudal de alimentación de la zaranda.	102
Cuadro 17. Comparación entre unidades.	104
Cuadro 18. Criterios de selección para el diámetro del cono de los hidrociclones.	105
Cuadro 19. Criterios de selección para el tipo de malla.	109
Cuadro 20. Aspectos para la selección del mesh de la malla.	110
Cuadro 21. Manual operativo de las zarandas vibratorias de doble piso.	120

Cuadro 22. Manual operativo del mud cleaner.	122
Cuadro 23. Manual operativo de las centrífugas decantadoras:	125
Cuadro 24. Comparación entre los sistemas	177

LISA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Características del corte luego del paso por el sistema de control de sólidos de Campo Castilla.	43
Tabla 2. Área abierta según el mesh de la malla.	60
Tabla 3. Características de los hidrociclones según su diámetro.	65
Tabla 4. Tipos de hidrociclones	66
Tabla 5. Fuerza G de las centrífugas decantadoras más comunes	71
Tabla 6. Propiedades del fluido de perforación spud mud.	86
Tabla 7. Aditivos del sistema BOREMAX®.	87
Tabla 8. Concentraciones de productos químicos necesarios para mezclar 1 bl de BOREMAX.	88
Tabla 9. Propiedades del fluido de perforación BOREMAX.	88
Tabla 10. Aditivos para el sistema BARANDRIL- N.	90
Tabla 11. Concentraciones de productos químicos necesarios para mezclar 1 bl de BARANDRIL- N.	91
Tabla 12. Propiedades del fluido de perforación BARANDRIL-N.	92
Tabla 13. Descripción de la composición por fase perforada teniendo en cuenta la formación.	93
Tabla 14. Tamaño del corte que puede perforar la broca, tomando en cuenta formaciones consolidadas.	96
Tabla 15. Ángulo del cono.	106
Tabla 16. Longitud total del cilindro.	106
Tabla 17. Determinación del número de hidrociclones en el mud cleaner.	106
Tabla 18. Diámetro de entrada de la alimentación.	109
Tabla 19. Presión de alimentación de acuerdo al cálculo de la cabeza de alimentación.	111
Tabla 20. Presión de alimentación de acuerdo a la heurística.	111

Tabla 21. Criterio de selección para la velocidad del tazón.	113
Tabla 22. Velocidad del tazón.	113
Tabla 23. Diámetro del tazón.	113
Tabla 24. Fuerza G calculada.	114
Tabla 25. Fuerza G de acuerdo al tipo de centrífuga y velocidad del bowl.	114
Tabla 26. Velocidad de diferencial.	115
Tabla 27. Presión de trabajo en las centrífugas.	116
Tabla 28. Corriente FP del fluido de perforación spud mud.	129
Tabla 29. Corriente física en el tratamiento del fluido spud mud.	129
Tabla 30. Corriente FP fluido de perforación Boremax.	130
Tabla 31. Corriente física de entrada en el tratamiento del fluido Boremax.	131
Tabla 32. Corriente FP fluido Barandril-N.	132
Tabla 33. Corriente física de entrada.	133
Tabla 34. Distribución de la corriente sólida que entra al divisor.	135
Tabla 35. Flujos máxicos provenientes del divisor.	136
Tabla 36. Composición corriente de entrada a la zaranda.	137
Tabla 37. Solidos removidos de acuerdo a la eficiencia de la malla.	138
Tabla 38. Flujos máxicos de la descarga solida de la zaranda.	139
Tabla 39. Composición de la corriente liquida proveniente de la zaranda.	140
Tabla 40. Composición corriente entrada al mud cleaner.	141
Tabla 41. Solidos removidos de acuerdo a la eficiencia del mud cleaner.	141
Tabla 42. Flujos máxicos de la descarga solida de la zaranda.	142
Tabla.43. Composición de la corriente liquida proveniente del mud cleaner.	142
Tabla 44. Solidos removidos de acuerdo a la eficiencia de la centrífuga de baja velocidad.	143

Tabla 45. Flujos máxicos de la descarga solida de la centrífuga de la baja velocidad.	143
Tabla.46. Composición de la corriente liquida proveniente de la centrifuga de baja velocidad.	144
Tabla 47. Solidos removidos de acuerdo a la eficiencia de la centrifugade alta velocidad.	145
Tabla 48. Flujos máxicos de la descarga solida de la centrífuga de alta velocidad.	145
Tabla.49. Composición de la corriente liquida proveniente de la centrifuga de alta velocidad.	145
Tabla 50. Distribución de la corriente sólida que entra al divisor.	148
Tabla 51. Flujos máxicos provenientes del divisor.	149
Tabla 52. Composición corriente de entrada a la zaranda.	149
Tabla 53. Solidos removidos de acuerdo a la eficiencia de la malla.	151
Tabla 54. Flujos máxicos de la descarga solida de la zaranda.	152
Tabla 55. Composición de la corriente liquida proveniente de la zaranda.	152
Tabla 56. Composición corriente entrada al mud cleaner.	153
Tabla 57. Solidos removidos de acuerdo a la eficiencia del mud cleaner.	154
Tabla 58. Flujos máxicos de la descarga solida del mud cleaner.	154
Tabla.59. Composición de la corriente liquida proveniente del mud cleaner.	155
Tabla 60. Solidos removidos de acuerdo a la eficiencia de la centrifuga de baja velocidad.	156
Tabla 61. Flujos máxicos de la descarga solida de la centrífuga de la baja velocidad.	157
Tabla.62. Composición de la corriente liquida proveniente de la centrifuga de baja velocidad.	157
Tabla 63. Solidos removidos de acuerdo a la eficiencia de la	

centrifuga de alta velocidad.	158
Tabla 64. Flujos máxicos de la descarga solida de la centrífuga de alta velocidad.	159
Tabla.65. Composición de la corriente liquida proveniente de la centrifuga de alta velocidad.	159
Tabla 66. Distribución de la corriente sólida que entra al divisor.	162
Tabla 67. Flujos máxicos provenientes del divisor.	162
Tabla 68. Composición corriente de entrada a la zaranda.	163
Tabla 69. Solidos removidos de acuerdo a la eficiencia de la malla.	164
Tabla 70. Flujos máxicos de la descarga solida de la zaranda.	165
Tabla 71. Composición de la corriente liquida proveniente de la zaranda.	166
Tabla 72. Composición corriente entrada al mud cleaner.	167
Tabla 73. Solidos removidos de acuerdo a la eficiencia del mud cleaner.	167
Tabla 74. Flujos máxicos de la descarga solida del mud cleaner.	168
Tabla.75. Composición de la corriente liquida proveniente del mud cleaner.	168
Tabla 76. Solidos removidos de acuerdo a la eficiencia de la centrifuga de baja velocidad.	169
Tabla 77. Flujos máxicos de la descarga solida de la centrífuga de la baja velocidad.	170
Tabla.78. Composición de la corriente liquida proveniente de la centrifuga de baja velocidad.	170
Tabla 79. Solidos removidos de acuerdo a la eficiencia de la centrifuga de alta velocidad.	171
Tabla 80. Flujos máxicos de la descarga solida de la centrífuga de alta velocidad.	172
Tabla.81. Composición de la corriente liquida proveniente de la centrifuga de alta velocidad.	172

Tabla 82. Consumo energético del sistema utilizado en el pozo A.	173
Tabla 83. Consumo energético del sistema propuesto.	173
Tabla 84. Resultados reportados por Espinoza y Quiroga.	175
Tabla 85. Costos generados del sistema de control de sólidos utilizado en pozo A.	179
Tabla 86. Costos generados del sistema de control de sólidos propuesto	181
Tabla 87. Costos comparativos para el sistema utilizado/propuesto.	183

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Mapa de la cuenca de los Llanos Orientales de Colombia.	34
Figura 2. Columna litológica del Campo Castilla.	35
Figura 3. Clasificación de los fluidos de perforación.	48
Figura 4. Equipos mecánicos para remoción de sólidos.	54
Figura 5. Diagrama de proceso de las zarandas.	55
Figura 6. Zaranda de doble piso.	61
Figura 7. Funcionamiento de un hidrociclón.	63
Figura 8. Mud cleaner	67
Figura 9. Zonas de distribución de la centrífuga	69
Figura 10. Sistema de control de sólidos para un fluido de perforación liviano	71
Figura 11. Sistema de control de sólidos para un fluido de perforación pesado	72
Figura 12. Sistema de control de sólidos para un fluido de perforación químicamente modificado	73
Figura 13. Partícula de montmorillonita (bentonita).	83
Figura 14. Arcilla de carga neutra.	84
Figura 15. Comparación de hidratación para la montmorillonita cálcica y sódica.	85
Figura 16. Remoción de tamaño de sólidos para cada equipo del control de sólidos.	99
Figura 17. Metodología.	118
Figura 18. Planteamiento del sistema.	119
Figura 19. Zaranda vibratoria de doble piso.	120
Figura 20. Mud cleaner.	122
Figura 21. Centrífuga.	124
Figura 22. Planteamiento del sistema en el simulador.	127

Figura 23. Corriente de entrada química al tratamiento 1.	128
Figura 24. Corriente de entrada química al tratamiento 2.	130
Figura 25. Corriente de entrada química al tratamiento 3.	132
Figura 26. Distribución del balance de masa fluido spud mud.	134
Figura 27. Diagrama de flujo divisor	134
Figura 28. Diagrama de flujo zarandas.	137
Figura 29. Diagrama de flujo mud cleaner.	140
Figura 30. Diagrama de flujo centrifuga de baja velocidad.	142
Figura 31. Diagrama de flujo centrifuga de alta velocidad.	144
Figura 32. Distribución del balance de masa fluido Boremax.	146
Figura 33. Diagrama de flujo divisor	147
Figura 34. Diagrama de flujo zarandas.	149
Figura 35. Diagrama de flujo mud cleaner.	153
Figura 36. Diagrama de flujo centrifuga de baja velocidad.	156
Figura 37. Diagrama de flujo centrifuga de alta velocidad.	158
Figura 38. Distribución del balance de masa fluido Barandril-N.	160
Figura 39. Diagrama de flujo divisor	161
Figura 40. Diagrama de flujo zarandas.	163
Figura 41. Diagrama de flujo mud cleaner.	166
Figura 42. Diagrama de flujo centrifuga de baja velocidad.	169
Figura 43. Diagrama de flujo centrifuga de alta velocidad.	171
Figura 38. Diagrama de Ishikawa para el sistema de control de sólidos	177
Figura 39. Sistema de control de sólidos utilizado en el pozo A.	179
Figura 40. Sistema de control de sólidos propuesto	180
Figura 41. Diferencia entre los sistemas.	182
Figura 42. Propuesta 1 de implementación progresiva del sistema.	184
Figura 43. Propuesta 2 de implementación progresiva del sistema.	185

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Cantidad de barita para un lodo	89
Ecuación 2. Cantidad de Carbonato de Calcio para un lodo	91
Ecuación 3. Volumen de corte obtenido en el pozo perforado.	97
Ecuación 4. Dinámica de vibración.	103
Ecuación 5. Ley de Stokes	107
Ecuación 6. Ley de Stokes	107
Ecuación 7. Potencia de la bomba.	108
Ecuación 8. Calculo de la cabeza de alimentación.	110
Ecuación 9. Heurística para determinación de la presión de alimentación.	111
Ecuación 10. Ley de Stokes	112
Ecuación 11. Fuerza G	113
Ecuación 12. Potencia de la bomba.	114
Ecuación 13. Calculo de la cabeza de alimentación.	116
Ecuación 14. Caudal de entrada a la centrífuga.	116
Ecuación 15. Volumen de los tanques de lodo.	117
Ecuación 16. Volumen total de los tanques	117
Ecuación 17. Flujo másico del fluido de perforación.	135
Ecuación 18. Flujo másico de la corriente sólida.	135
Ecuación 19. Flujo másico total que entra al divisor.	136
Ecuación 20. División de las corrientes.	136
Ecuación 21. Cantidad de solidos removidos de acuerdo a la eficiencia.	138
Ecuación 22. Cantidad de fluido de perforación retenido por los sólidos.	138
Ecuación 23. Flujo másico líquido de la corriente de salida	

de la zaranda.	139
Ecuación 24. Flujo másico sólido de la corriente de salida de la zaranda	139
Ecuación 25. Flujo másico del fluido de perforación.	147
Ecuación 26. Flujo másico de la corriente sólida.	147
Ecuación 33. Flujo másico del fluido de perforación.	161
Ecuación 34. Flujo másico de la corriente sólida.	161

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Ficha técnica de la zaranda	192
Anexo B. Ficha técnica de la zaranda.	194
Anexo C. Ficha técnica del mud cleaner	195
Anexo D. Ficha técnica de la centrífuga decantadora	200
Anexo E. Cotización de los equipos	202
Anexo F. Balances de masa	203

LISTA DE ABREVIATURAS Y UNIDADES

%	Porcentaje
°	Grados
°C	Grados centígrados
”	Pulgadas
μ	Micrones
\$	Dólares
ANH	Agencia Nacional de Hidrocarburos
ARCI	Arcillolita
bl	Barriles
Centrif	Centrífuga
C/N	Relación carbono – nitrógeno
Cl	Cloro
Cp	Centipoise
Desare	Desarenador
Desarci	Desarcillador
DBO	Demanda biológica de oxígeno
DQO	Demanda química de oxígeno
FP	Fluido de perforación
ft	Pies
g	Gramos
G	Fuerza G
gal	Galones
gpm	Galones por minuto
hr	Horas
in	Pulgadas
K	Sodio
kg	Kilogramo

Kw	kiloWatt
L	Litros
Limo	Limonita
Luti	Lutita
lb	Libras
m	Metros
Mix	Mixer
md	Milidarcy
meq	Miliequivalente
mg	Miligramos
ml	Mililitros
mm	Milímetros
MQC	Mejoramiento químico en la centrífuga
N	Nitrógeno
NPK	Relación Nitrógeno-Fósforo-Potasio
P	Potasio
ppb	Partes por billón
pH	Potencial de hidrógeno
ppg	Partes por galón
Psi	Presión manométrica
ROP	Velocidad de penetración
rpm	Revoluciones por minuto
seg	Segundos
Ton	Toneladas
USD	Dólares

GLOSARIO

ADITIVO: sustancia que se añade a un producto para mejorarlo o conservarlo.

ANFÓTERO: cualidad de una sustancia la cual puede comportarse como ácido y base.

ARENA: conocido como oxido de silicio, material compuesto de partículas cuyo tamaño varía entre 0,063 y 2mm.

ARENISCA: roca sedimentaria formada por pequeños granos de arena compactados, cuya dureza depende del tamaño de granos que la componen.

ARCILLA: roca sedimentada formada a partir de depósitos de grano muy fino, compuesta esencialmente por silicatos de aluminio hidratados.

ARCILLOLITA: es una roca compacta, sin fisilidad formada por partículas del tamaño de una arcilla.

BARITA: es un mineral no metálico, inerte, no toxico, que tiene un alto peso específico el cual es utilizado como densificante en los fluidos de perforación.

BENTONITA: es una arcilla compuesta esencialmente por minerales del grupo de la esmectita independiente en su género, utilizada como aditivo en los fluidos de perforación.

CATCH TANK: tanque abierto de almacenamiento temporal para el pre-tratamiento de los efluentes.

CENTRÍFUGA DECANTADORA: último equipo de control de sólidos que permite la remoción de sólidos de tamaño menor al de la arcilla.

COLOIDE: estado de la materia en el que un sólido o un líquido está disperso en otro.

CONSOLIDACIÓN: es una cualidad de los sedimentos, de mantener su volumen y forma al momento de ejercer un esfuerzo sobre ellas.

CUENCA: depresión en ciertas partes de la tierra en las que se produce acumulación de sedimentos.

GEOLOGÍA: es la ciencia que estudia la composición y la estructura interna de la tierra.

HUMEDAD: es la cantidad de agua presente en el aire o en cualquier superficie que tenga la capacidad de absorción o adsorción.

MUD CLEANER: equipo de control de sólidos conocido como 3 en uno, ya que está compuesto por desarenadores, desarcilladores y una zaranda.

LUTITAS: roca compuesta por partículas de tamaño menor a 0,06 mm.

LIMONITA: es un mineral de óxido de hierro hidratado, amorfo, que resulta de la alteración de otro mineral de hierro.

PH: es una medida de acidez o alcalinidad de una solución, el indica la concentración de iones hidronio presentes en determinadas sustancias.

POLÍMERO: componente que modifica las características de un fluido de perforación.

PUNTO DE CORTE: tamaño de partícula que un equipo logra remover.

REOLOGÍA: parte de la física que estudia la relación entre los esfuerzos y la deformación de los fluidos.

RESIDUOS: todos aquellos materiales o restos que no tiene ningún valor económico para el usuario, pero sin un comercial para su recuperación e incorporación al ciclo de vida de la materia.

SEDIMENTOS: es la materia que, después de haber estado en suspensión es en un líquido, termina en el fondo por su mayor gravedad.

SUBREDONDEADO: partícula con casi todas las caras planas, pero con esquinas y bordes redondeados.

TAMIZ: es una malla metálica constituida por barras tejidas con un espacio entre sí por donde se hace pasar un efluente compuesto de sólidos de mayor diámetro que el espacio entre el tejido de las barras.

TIXOTROPÍA: es la propiedad mediante la cual el fluido adquiere una propiedad gelatinosa cuando se encuentra en reposo, pero cuando se comienza a agitar, regresa a su estado original.

ZARANDA: equipo primario del control de sólidos el cual separa las partes más gruesas de una sustancia teniendo en cuenta el tamaño de partículas.

RESUMEN

En la perforación del pozo A ubicado en Campo Castillade la empresa Ecopetrol S.A, se presentaron numerosas debilidades respecto al sistema de control de sólidos, entre ellas tiempos prolongados de operación, pérdidas alrededor del 30% del fluido de perforación y cortes con humedad de 1,11% luego de la unidad de dewatering, lo cual conlleva a que los procesos de disposición tomen más tiempo debido a la necesidad de una deshidratación posterior. El presente trabajo de proyecto de grado realiza el planteamiento de una alternativa para la puesta en marcha de un sistema que permita la separación y disposición final de los cortes industriales de perforación, en el Campo de estudio.

Para la selección de la alternativa, se recopilaron las características fisicoquímicas de los fluidos utilizados en la perforación del pozo A y cortes de perforación, luego se determinaron los parámetros y variables de las unidades que se utilizan en el sistema de control de sólidos, paraseleccionar los equipos necesarios para el sistema compuesto por; zarandas de doble piso, mud cleaner, y centrifugas.

Por medio de una simulación en el programa Aspen Plus, se identificó el comportamiento del sistema, para realizar un balance de masa y así determinar que el sistema propuesto ayuda a disminuir el porcentaje de humedad hasta el 1%, resultado tomado en la salida de la centrifuga decantadora de alta velocidad, este porcentaje demostró que se recupera más fluido de perforación durante el proceso a comparación del sistema utilizado en el pozo A.

En cuanto al proceso de disposición final de los cortes de perforación, se recomienda utilizar los residuos previamente deshidratados para la fabricación de fertilizantes orgánicos, propuesta implementada por Espinoza y Quiroga en su trabajo de grado. La investigación intento acondicionar los residuos por medio de descomposición aerobia a temperatura controlada y presencia de microorganismos, dando un buen resultado como fertilizante.

Palabras claves: Cortes perforación, Sistema control sólidos, tiempos deshidratación, recuperación fluido, separación cortes, disposición final cortes, cortes secos.

INTRODUCCIÓN

Para la industria del petróleo, es fundamental desarrollar de una manera adecuada, la estrategia de control de residuos en los procesos de perforación para los cortes, ya que este es un factor medioambiental fuerte que se tiene en cuenta al momento de generar un plan de manejo ambiental para un pozo. Esta alternativa permite generar un sistema para la separación y disposición final de los cortes de perforación, logrando recuperar la mayor cantidad de fluido de los cortes de manera que cumpla las normas medio ambientales que se rigen en Colombia.

Los procesos de separación y disposición final de los cortes de perforación, están conformados por un conjunto de unidades que ayudan a la separación de estos cortes de acuerdo a su tamaño, llamado sistema de control de sólidos y un tratamiento posterior, para la neutralización de los cortes. Esto permite asegurar que los cortes tengan las características adecuadas para su disposición.

La adecuada selección de un sistema de control de sólidos, teniendo en cuenta las características de los cortes y los fluidos de perforación y el comportamiento de cada unidad que hace parte del sistema, permite la recuperación del 80% del fluido de perforación y evite tiempos prolongados de deshidratación en los cortes una vez se han tratado.

De esta manera con el fin de formular una alternativa, se propondrá un sistema de control de sólidos, el cual propondrá nuevas opciones para lograr una separación de los cortes, usando unidades como, zarandas de doble piso, mud clenaer y centrífugas, que disminuyan considerablemente los porcentajes de humedad en los cortes que son separados.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Plantear una alternativa para la puesta en marcha de un sistema que permita la separación y disposición final de los cortes industriales de perforación, en el Campo Castilla de Ecopetrol S.A.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir las generalidades del Campo Castilla de Ecopetrol S.A.
- Recopilar y analizar desde la teoría, las características físico-químicas de los cortes industriales de perforación de acuerdo con la litología de estudio.
- Realizar un diagnóstico de los sistemas existentes para la separación y la disposición de los cortes industriales de perforación.
- Seleccionar los parámetros y variables que definen un sistema de tratamiento físico-químico para la separación de los cortes industriales de perforación.
- Plantear el procedimiento para la separación y disposición de los cortes industriales de perforación.
- Determinar la estructura actual de costos con el propósito de identificar ventajas y desventajas asociadas a la implementación del sistema.

1. GENERALIDADES DEL CAMPO CASTILLA

En este capítulo se conocerán las generalidades de Campo Castilla, se describirán la geología de la Cuenca de los Llanos Orientales, la ubicación del Campo Castilla en la Cuenca y se explicará cómo se realiza un proceso de perforación en un pozo, con el sistema de control de sólidos que maneja Castilla. Por último, se realiza una proyección de los pozos que tiene pronosticados perforar Ecopetrol, logrando identificar la necesidad de un sistema de control de sólidos para posibles operaciones planeadas.

1.1 CUENCA DE LOS LLANOS ORIENTALES

El trabajo de investigación se llevó a cabo en el Campo Castilla de Ecopetrol S.A, localizado en Cuenca de los Llanos Orientales en la zona este de Colombia.

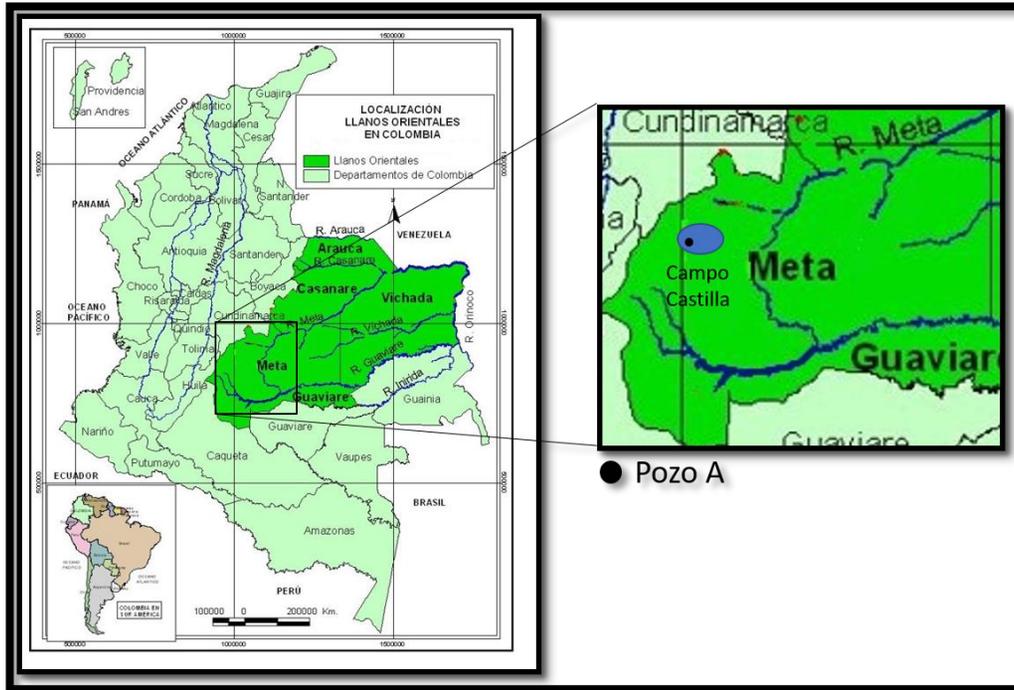
“Sus límites geomorfológicos son la Cuenca de Barinas al Norte, La Serranía De la Macarena y el Arco de basamento de Vaupés al sur, el sistema de fallas de Guaicáramo al Oeste y el Escudo precámbrico de Guayana al Este. La Cuenca de los Llanos está conformada por departamentos de Arauca, Guaviare, Vichada, Meta y Casanare”¹.

1.1.1 Localización. “El Campo Castilla se encuentra ubicado en Colombia, Cuenca de los Llanos Orientales, en el Departamento del Meta, 30 Km. al sur de Villavicencio, en cercanías a los municipios de Castilla la Nueva y Guamal, cómo se muestra en la Figura 1, donde según la ANH las coordenadas geográficas del Campo Castilla son Latitud: 3°49'59” Norte y, Longitud: 73°40' 59” Oeste”². El acceso al campo, se realiza principalmente por la carretera que desde la ciudad de Villavicencio conduce al Municipio de Granada.

¹AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS (ANH), Colombian Sedimentary Basins. Bogotá, 2013.p.26

²Ibid.p.27

Figura 1. Mapa de la cuenca de los Llanos Orientales de Colombia.



Fuente:LINEA CULTURAL, Diversidad cultural en los Llanos Orientales, [Enlínea]<<https://apuntesdecultura34v.wordpress.com/2014/02/23/diversidad-cultural-en-los-llanos-orientales/>>

En la **Figura 1** se evidencia; la ubicación de la Cuenca de los Llanos Orientales en Colombia, cuenca en la cual se encuentra el Campo Castilla.

1.2 GEOLOGÍA DEL CAMPO CASTILLA

1.2.1 Localización Geológica.El Campo Castilla está ubicado en La Cuenca De Los Llanos Orientales, sector Apiay Ariari, contiguo al piedemonte andino (zona noroccidental de la cuenca), envuelto en una zona tectónica que presenta fallas inversas, fallas de distensión y pliegues asociados.

1.2.2 Estratigrafía. Según el ministerio de minas y energía, el Campo Castilla produce de la unidad K2 (Guadalupe Masivo), la cual se encuentra en una profundidad promedio de 10500pies, mediante un acuífero activo que ingresa por el sur del Campo.

Ésta unidad cuenta con una porosidad promedio de 19% y permeabilidad promedio de 1180 md, y profundidades que varían entre los 6000 y 7000 pies.

Además, el Campo produce de la unidad K1 (Guadalupe Superior) de la formación Guadalupe, mediante el mismo acuífero; por lo cual las unidades K1 y K2 de la

Formación Guadalupe, pertenecen al mismo yacimiento y se distribuye como se muestra en la **Figura 2**. También el campo podría producir de la Unidad T2 (Formación Mirador), mediante capa de gas; pero éste yacimiento no se ha desarrollado hasta la fecha³.

Figura 2.Columna litológica del Campo Castilla.

ERA	PERIODO	EPOCA	EDAD	FORMACIONES	
CENOZOICO	Cuaternario	Pleistoceno	Tardio	Guayabo	
		Plioceno	Temprano		
	TERCIARIO	Mioceno		Tardio Medio	Shale León
			Oligoceno	Temprano Tardio	F. Carbonera
		Lutita E			
		Unidad C1			
		Areniscas Carbonera			
		Unidad C2			
Lutita E3					
Unidad T1					
Unidad E4					
	Eoceno Tardio	Temprano Tardio	F. Mirador	Unidad T2	
MESOZOICO	CRETACEO	Paleoceno	Priaboniano	Hiato	
		Tardio	Mastrichtiano	F. Guadalupe	K1
			Campaniano		K2
	Santoniano				
Coniaciano					
Turoniano					
Cenomamiano					
Temprano	Albiano Aptiano		Hiato		

Fuente: RODRÍGUEZ, Alba. Estudio del control de pozos durante las operaciones de mantenimiento de workover en el Campo Apiay y Castilla la Nueva, Bucaramanga. 2008. P.32

En la **Figura 2**, se muestra la columna litológica del Campo Castilla, determinando sus tres formaciones productoras, Mirador (T2) y Guadalupe (K1 y K2).

³RODRÍGUEZ, Alba. Estudio del control de pozos durante las operaciones de mantenimiento y workover en el Campo Apiay y Castilla La Nueva. (Trabajo de grado). Escuela de ingeniería de petróleos. Bucaramanga. 2008. p.0

- **Formación Guadalupe, Unidad K2:** corresponde a una secuencia arenosa de apariencias masivas pobremente seleccionadas, grano-decrecientes incompletas con espesores menores de 10 pies compuestos por areniscas de grano grueso a medio, cuarzosa, cementadas por sílice. En su parte superior aparecen ocasionales láminas ferruginosas y algunos niveles de lutitas carbonosas con materia orgánica. Cuando los ciclos se encuentran completos terminan en un paquete de pocos pies de espesor de areniscas de grano fino fuertemente cementada por cuarzo y abundantes estilolitas, o en niveles arcillosos de sílice compacta. Estas características sugieren que la unidad K2 se depositó en un ambiente sedimentario fluvial de canales entrelazados de bajas sinuosidad con dominio de carga de lecho, cuenta con un espesor de 490ft.⁴
- **Formación Guadalupe, Unidad K1:** sección de intercalaciones de areniscas y shales que cubre concordantemente las areniscas de la unidad K2 y se encuentra discordantemente a la unidad T2. Está constituida por paquetes entre cinco a 20 pies de arenisca de grano medio a muy fino, cuarzosa, cemento sílice, ocasionalmente calcárea, con laminación cruzada tangencial y riples, intercalados con intervalos de shale negro, silíceo, duro, con laminación fina plana a ligeramente ondulada, lenticular y ocasionalmente con lentes y nódulos de siderita. Su espesor varía entre 500 y 550 pies. Hacia la base se presentan los mayores espesores y la presencia de la roca almacenadora, con sección que se interpreta como resultado de la depositación de un ambiente deltaico con influencia de mareas. Hacia la parte media de K1 el ambiente es estuario de dominio mareal, en donde se identifica un nivel arcilloso y permite ser orientado a depósitos de bahía restringida y planicies de marea y permite ser correlacionado con la superficie de máxima inundación, cuenta con un espesor promedio de 715ft.⁵
- **Formación Mirador, Unidad T2:** secuencia masiva de arenisca cuarzosa de grano fino a grueso, moderadamente seleccionadas, localmente conglomerática la base, intercaladas con delgadas capas de shale, estas arenas depositacionalmente posiblemente corresponden a areniscas fluviales tipo canales entrelazados con intervalos de lodolitas. Al tope de T2 se encuentra la Lutita E4 en contacto concordante generalmente bien definido entre shale y arenisca y solo el espesor total varía entre 295 y 411 pies, con 340 pies de promedio se pueden visualizar tres intervalos arenosos más o

⁴ARIAS, Haydy. Patronamiento de las tendencias direccionales en las formaciones de la Cuenca de los Llanos Orientales. (Municipio de Acacias y Castilla la Nueva, departamento del Meta). (Tesis de grado). Escuela de ingeniería de petróleos Bucaramanga, 2012.p.40-41.

⁵ ANH.Cuenca Llanos Orientales.Bogotá,2012. P34-38

menos separados por intervalos arcillosos, que no son totalmente continuos en el campo, pero si son frecuentes, cuenta con un espesor promedio de 270ft.⁶

- **Formación Carbonera, Unidad Lutita E4:** caracterizada por una secuencia homogénea de lutitas gris verdosa, verde oscuro, local verde oliva, con intercalaciones menores de arcillolitas y limonita marrón claro a pardo oscuro, con nódulos de siderita, acompañadas de pequeños lentes arenosos hacia la parte basal, cuenta con un espesor promedio de 960ft.⁷
- **Formación Carbonera, Unidad T1:** esta unidad se presenta en general como un paquete de intercalaciones de arenas sueltas, areniscas, limonitas, lutitas y arcillolitas, compuestas predominantemente por lutitas grises verdosas, de consistencia firme, de fractura astillosa, en menores proporciones laminares incrementando la fisibilidad a medida que se aumenta en profundidad, donde en la primera porción aparecen lutitas carbonosas, mientras que en la base son menores niveles de arcillolitas grisáceas, cuenta con un espesor promedio de 340ft.⁸
- **Formación Carbonera, Unidad Lutita E3:** esta unidad se encuentra constituida litológicamente por una secuencia homogénea de lutitas hacia la base, con algunas intercalaciones menores de arcillolitas. Lutita gris verdoso medio a oscuro, moderadamente firme, astillosa, menor fisil, laminar, aspecto sedoso, menor carbonosa, no calcárea, localmente con micro pirita, trazas de arenisca cuarzosa, firme moderadamente friable, grano-soportada, cuarzo grano muy fino a fino, translucido, subredondeado, subesférico, cemento calcáreo, buena selección, cuenta con un espesor promedio de 600ft⁹.
- **Formación Carbonera, Unidad C2:** esta unidad se encuentra constituida litológicamente por arcillolitas con algunos paquetes arenosos y considerables intercalaciones de limonitas, se dividió en tres intervalos de base a techo, el

⁶ANH.Cuenca Llanos Orientales.Bogotá,2012. P34-38

⁷ARANGO, Andrea. Análisis sismoestratigráfico de la formación Carbonera miembro C7 (Municipio de Orocué y San Luis de Palenque, Cuenca Llanos Orientales). (Trabajo de grado). Fundación Universidad de América. Bogotá.2014. p.30-31.

⁸ARIAS, Haydy. Patronamiento de las tendencias direccionales en las formaciones de la Cuenca de los Llanos Orientales. (Municipio de Acacias y Castilla la Nueva, departamento del Meta). (Tesis de grado). Escuela de ingeniería de petróleos Bucaramanga, 2012. p.42-43.

⁹ARIAS, Haydy. Patronamiento de las tendencias direccionales en las formaciones de la Cuenca de los Llanos Orientales. (Municipio de Acacias y Castilla la Nueva, departamento del Meta). (Tesis de grado). Escuela de ingeniería de petróleos Bucaramanga, 2012p. 45.

primer compuesto predominantemente por areniscas con intercalaciones de arcillolitas de color gris oliva, gris verdoso, limonita gris verdoso claro y en menor proporción arenisca, un segundo nivel compuesto por arcillolitas de color púrpura grisáceo, menor marrón rojizo y amarillento estas con intercalaciones de limonita y en menor proporción areniscas. En tercer compuesto predominantemente por arenisca interestratificada con arcillolitas de color gris claro y limonita, cuenta con un espesor promedio de 1900ft¹⁰.

- **Formación Carbonera, Unidad Arenisca de Carbonera:** esta Unidad se caracteriza por importantes paquetes arenosos que van de grano fino a muy fino en su parte superior, hacia la base se observa intercalaciones de arcillolitas y limonitas, cuenta con un espesor promedio de 200ft.¹¹
- **Formación Carbonera, Unidad C1:** en general esta unidad se encuentra compuesta predominantemente por arcillolitas que varían continuamente su coloración, intercaladas con limonitas hacia el tope y con delgados niveles de arenisca que incrementan levemente hacia la base de esta unidad la cual cuenta con un espesor promedio de 830ft.¹²
- **Formación Carbonera, Unidad Lutita E:** Esta unidad está definida por la presencia de niveles de lutitas verde claro, alternada con arcillolitas grisáceas, areniscas y esporádicos niveles de limonitas, cuenta con un espesor promedio de 300ft.¹³
- **Formación Carbonera, Unidad Arenisca Superior:** según la Agencia Nacional de Hidrocarburos (AGH), esta unidad se caracteriza por ser una alteración de paquetes arenosos y arcillosos, en la parte superior predomina una secuencia de intercalaciones de areniscas y menores intercalaciones de arcillolitas en la cual predominan los tonos grisáceos y en menor cantidad tonos verdosos, rojizos y púrpuras hacia la base la secuencia se hace más

¹⁰ Ibid. p. 30.31

¹¹ Ibid.p.45.

¹² ARANGO, Andrea. Análisis sismoestratigráfico de la formación Carbonera miembro C7 (Municipio de Orocué y San Luis de Palenque, Cuenca Llanos Orientales). (Trabajo de grado). Fundación Universidad de América. Bogotá.2014. p.30-31.

¹³ ARIAS, Haydy. Patronamiento de las tendencias direccionales en las formaciones de la Cuenca de los Llanos Orientales. (Municipio de Acacias y Castilla la Nueva, departamento del Meta). (Tesis de grado). Escuela de ingeniería de petróleos Bucaramanga, 2012.p.46-47.

arcillosa, con menores intercalaciones de arenas, también se presentan trazas de pirita y chert, cuenta con un espesor promedio de 900ft.¹⁴

- **Formación León:** formación constituida por lutitas (shale) gris verdoso, fisiles, laminares y astillosas, localmente micro micáceas, cuenta con un espesor promedio de 785ft.¹⁵
- **Formación Guayabo:** formación constituida hacia el tope por paquetes de arenas cuarzosas de grano fino a medio, angular a subredondeado, grano creciente a medida que avanza en profundidad, estas arenas son intercaladas por menores niveles de arcillolitas de color marrón, rojizas, amarillas, blandas, amorfas, en menor proporción de factura blocosa, cuenta con un espesor promedio de 1190ft.¹⁶

1.2.3 Geología del petróleo. “La cuenca de los llanos orientales produce en promedio cerca de 425 mil barriles de crudo por día, de los cuales 187000 son crudos pesados, 121000 crudos medianos y 116000 crudos livianos. Esta cuenca sedimentaria tiene 118 campos, es decir el 41% de los campos activos totales del país”¹⁷.

Dentro de la geología del petróleo en la cuenca se tiene específicamente:

- **Roca Generadora:** “la principal roca generadora en esta área son las lutitas marino-continetales de la Formación Gacheta, localizadas por debajo del flanco oriental de la Cordillera Oriental. Estas rocas poseen un kerógeno tipo II y III, rangos de TOC entre 1 y 3% y un espesor efectivo de 50 a 100 metros”¹⁸. Estas lutitas corresponden a la formación Gachetá, localizadas por debajo del flanco oriental de la Cordillera Oriental, con un espesor de 150 a 300 pies.
- **Roca Reservorio:** “las arenitas de las formaciones Carbonera (C-3, C-5 y C-7) y Mirador, de edad paleógeno, son excelentes almacenadoras de hidrocarburos. En la secuencia cretácica algunos intervalos arenosos son también excelentes reservorios. Su rango de porosidad varía entre el 10 al 30%”¹⁹. Para el caso puntual del Campo Castilla las rocas reservorio son: la

¹⁴ ANH. Open Round Colombia 2010. Bucaramanga, 2010.

¹⁵ DUSENBURY, Anuel. The Hannatoma fauna in Colombia and Venezuela. Venezuela, 1949. p.23.

¹⁶ ARIAS, Haydy. Patronamiento de las tendencias direccionales en las formaciones de la Cuenca de los Llanos Orientales. (Municipio de Acacias y Castilla la Nueva, departamento del Meta). (Tesis de grado). Escuela de ingeniería de petróleos Bucaramanga, 2012 .p .48.

¹⁷ INSTITUTO CEC PETROL. Cuencas Sedimentarias de Colombia. Valle del Cauca. 2012. p.17.

¹⁸ ANH. Open Round Colombia. Bogotá. 2010. p.2.

¹⁹ Ibid, p.2.

unidad K2 de la Formación Guadalupe, la unidad K1 de la formación Guadalupe y la unidad T2 de la formación Mirador.

- **Roca Sello:**“el sello regional de la cuenca es la Formación León. Por otra parte, las unidades C-2, C-4, C-6 y C-8 de la Formación Carbonera son reconocidas como sellos locales, y además las lutitas cretácicas de las formaciones Gachetá y Guadalupe pueden actuar como sellos intraformacionales”²⁰.
- **Migración:**“dos pulsos de migración han sido documentados: el primero durante el Eoceno tardío-Oligoceno y el segundo comenzó en el Mioceno y continúa en la actualidad”²¹.
- **Trampas:** 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. En el caso del Campo Castilla, este está conformado por una trampa estructural, generada por un anticlinal fallado en su flanco oriental²².

1.3 PROCESO DE PERFORACIÓN EN EL POZO DE ESTUDIO

El proceso de la perforación inicia con la instalación del equipo de perforación en el pozo A, ubicado en el Campo Castilla, el equipo de perforación se conoce como taladro o torre de perforación y tiene como función principal, hacer el hueco que conecte la formación productora de hidrocarburo con la superficie²³.

Cuando la torre de perforación se instala, se realiza el levantamiento de la tubería de perforación con la broca y comienza la perforación de la formación. El principio fundamental de la perforación es colocar la broca en contacto con la formación, algo de peso y girar para empezar a penetrar el manto rocoso. Al mismo tiempo que se va perforando, se introduce el fluido de perforación para lubricar la broca, controlar las propiedades de la formación a medida que se va atravesando distintas capas de roca y llevar los cortes de perforación del fondo a superficie.²⁴

La perforación para el campo de estudio se dividió en tres fases:

²⁰ Ibid.,p.2.

²¹ Ibid.,p.2

²² Ibid.,p.2.

²³ BARBIERRI, Efrain. PDVSA. El pozo ilustrado. Caracas.1998. p.92.

²⁴ Ibid.p.92.

1.3.1 Fase 17 ½”. La sección se perfora desde superficie hasta 1024 ft, durante la perforación se utiliza un BHA N°1 convencional y una broca tricónica de 17 ½” con un lodo spud mud o de inicio, constituido de agua con bentonita. Se utiliza un caudal de 800 gpm. Luego de esta etapa se saca el BHA utilizado para luego bajar tubería de revestimiento de 13 3/8” y cementar.

1.3.2 Fase 12 ¼”. La sección se perfora desde la profundidad de 1034 ft hasta 6663 ft, una vez terminando la cementación de la fase anterior, se realiza una reunión pre operacional para armar el BHA N°2 con una broca PDC 12 ¼” con un lodo Boremax, lodo compuesto de distintos polímeros para mejorar su interacción con la formación, maneja caudales de circulación entre 700 – 800 gpm , en la primera etapa de esta fase (1034 ft a 4330 ft) se agregan 40 bbl de píldora viscosa pesada (12.5 – 13 ppg) en distintos tramos durante la perforación para conseguir un buena estabilidad del pozo, para la última etapa de esta fase se mantiene el lodo Boremax pero se agrega píldora dispersa (11.8 ppg) y píldora viscosa (13.7 ppg) en distintos puntos para asegurar una buena limpieza en el pozo y mantener la formación perforada estable. Luego de esta etapa se saca el BHA N°2, se baja la tubería de revestimiento de 9 5/8” y se cementa.

1.3.3 Fase 8 ½”. La sección se perfora desde la profundidad de 6663 ft hasta 9393 ft, se arma un BHA N°3 con broca PDC 8 ½” con un lodo Baradrill-N (8.8 ppg), lodo que controla el filtrado hacia la formación reduciendo posibles daños en cara del pozo, maneja caudales de circulación de 380-400 gpm. Al llegar a la profundidad objetivo, se circula 60 bbl de píldora viscosa y dispersa para limpiar el pozo y sacar el BHA N°3. Una vez sacada la sarta de perforación se baja un liner 7” para ser cementado y posteriormente cañoneado.

Como se observa en el proceso de perforación en Campo Castilla, se utilizan tres lodos diferentes en cada sección, en el **cuadro 1** se muestra el tipo de fluido utilizado por sección y sus componentes generales. (En el capítulo 3 se analiza detalladamente cada uno de los fluidos).

Cuadro 1.Diagrama de pozo y fluido utilizado en cada sección.

Diagrama	Fluido	Caudal	Composición
	Spud mud	800 gpm	Agua y material pesante (bentonita) [18-20 lb/Bl]
	Boremax	700-800 gpm	Agua, material pesante y aditivos que permiten mantener las propiedades reológicas recomendadas para perforar (polímero no iónico v floculante)
	Baradrill-N	380-400 gpm	Formulados con agua dulce o salada, polímeros térmicamente estables para la suspensión y control de filtración, y el carbonato de calcio de tamaño de partículas de puente.

En el **cuadro 1** se muestra el diagrama de pozo y el resumen de la planeación de perforación que se utilizó para el pozo A, mostrando las características principales de los 3 fluidos de perforación utilizado en las tres secciones que se perforaron.

1.4 MANEJO Y DISPOSICIÓN DE LOS CORTES RESIDUALES INDUSTRIALES DE PERFORACIÓN

El manejo de los cortes residuales industriales de perforación en Castilla, inicia una vez el lodo sale del pozo y es dirigido al sistema de remoción primario de control de sólidos, compuesto por dos zarandas primarias y tres secundarias, estos equipos remueven los cortes más grandes que se encuentren en el lodo (mayores a 75 micrones), luego se encuentra el sistema de remoción secundario de control de sólidos, compuesto por desarenadores, desarcilladores y centrífugas; estos equipos se encargan de la remoción de las partículas más finas del lodo (menores a 75 micrones). Cada unidad descarga los sólidos a una línea que lleva los cortes retirados a un tanque de residuos llamado Catch Tank, en los

tanques de residuos los cortes industriales de perforación son deshidratados por medio de una unidad de dewatering luego son secados y mezclados con cal para estabilizar el pH y poderlo disponer.

1.5 CARACTERÍSTICAS DE UN CORTE OBTENIDO DEL SISTEMA DE CONTROL DE SÓLIDOS DE CAMPO CASTILLA

Para el desarrollo de este proyecto, se tomaron como referencia las características de los cortes de perforación del pozo A, proporcionadas por Ecopetrol S.A. como se muestra en la **Tabla 1**, elaborada en el trabajo de grado titulado: Desarrollo de un proceso para el acondicionamiento de los cortes de perforación como fertilizante de un campo petrolero, estas caracterizaciones fueron realizadas después de que los cortes salieran de la unidad de dewatering. Se tendrá en cuenta principalmente el porcentaje de humedad, ya que el objetivo fundamental del sistema de control de sólidos es, recuperar la mayor cantidad de fluido de perforación de los cortes.

Tabla 1. Características del corte luego del paso por el sistema de control de sólidos de Campo Castilla.

CARACTERIZACIÓN	PARÁMETRO	UNIDAD	CORTE DE PERFORACIÓN
TEXTURA	Arena	% Peso	17,1
	Arcilla	% Peso	20,2
	Limo	% Peso	62,7
	Clase textural	-----	Franco limoso
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	Acidez intercambiable	meq/100 g	<0,50
	Capacidad de intercambio	meq/100 g	10,8
	Conductividad		699/25,0
	Humedad a 105 gr c	% Peso	1,11
	pH	Uni. pH	10,5

Tabla 1. (Continuación)

CARACTERIZACIÓN	PARÁMETRO	UNIDAD	CORTE DE PERFORACIÓN
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	Carbonatos	meq/L	32,2
	Bicarbonatos	meq/L	6,36
	Cloruros	mg Cl-/kg	68
	Sulfatos	mg SO ₄ ⁼ /kg	57
	Carbono orgánico total	mg/kg	8651

Fuente: ESPINOSA, Andrés. QUIROGA, Karen. Desarrollo de un proceso para el acondicionamiento de los cortes de perforación como fertilizante de un campo petrolero. (Trabajo de grado). Fundación Universidad de América. Bogotá. 2013. p. 75.

En la **tabla 1** muestra las características de los cortes industriales de perforación una vez han pasado por el sistema de control de sólidos y la unidad de floculación conocida como dewatering, que actualmente se utiliza en Castilla, mostrando que se tiene un porcentaje de humedad mayor al 1%.

1.6 PLAN DE PERFORACIÓN DE ECOPETROL 2016-2020

Durante el segundo semestre del 2016 Ecopetrol intensificó la perforación y exploración de pozos, luego de un periodo de austeridad tras la caída de los ingresos por los bajos precios del crudo.

Se plantea perforar unos 80 pozos de desarrollo en el segundo semestre del 2016, de los cuales 35 se perforarán en el Campo Castilla y los restantes estarán divididos en otros campos, terminando el año con 150 pozos perforados²⁵.

Ecopetrol al presentar su plan de negocio para el 2017, mostro contemplar alrededor de tres mil quinientos millones de dólares, de los cuales serán invertidos en las áreas de exploración y producción. En exploración se pasará de perforar 10 pozos en el año 2016 a 16 pozos en el 2017, con el objetivo de hallar más reservas de hidrocarburos. En el área de producción, la perforación de pozos de

²⁵ REUTERS. Ecopetrol perforara 80 pozos en lo que queda del año: De los nuevos pozos, 35 se perforarán en el Campo Rubiales, 35 en Castilla y los restantes estarán divididos en otros campos. En: Portafolio [En línea]. <<http://www.portafolio.co/negocios/empresas/ecopetrol-perforara-80-pozos-en-lo-que-resta-del-2016-499632>> [Citado en agosto 17 del 2016]

desarrollo se elevará de 150 pozos en el 2016 a más de 500 en el 2017, destacándose las campañas ya iniciadas en Castilla, Chichimene y Rubiales.²⁶

De acuerdo al plan de negocios de Ecopetrol, con base a un sólido portafolio de inversión, estimado en USD 13.000 millones para el 2020, pretende invertir un 90% a pozos de exploración y producción.²⁷

²⁶ CARIBE GG. Ecopetrol presenta plan de negocio para el 2017. En: La lengua Caribe [En línea]: <<http://www.lalenguacaribe.co/ecopetrol-presenta-plan-negocios-para-el-2017/>> [citado en noviembre 22 del 2016]

²⁷ ECOPETROL. Ecopetrol actualizo plan de negocio al 2020. En: Ecopetrol [En línea] <<http://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/nuestra-empresa/sala-de-prensa/boletines-de-prensa/Boletines/Boletines/actualizacion-plan-negocio-2020>>

2. MARCO TEÓRICO

2.1 FLUIDOS DE PERFORACIÓN

El fluido de perforación, es una mezcla que comprende líquidos, sólidos y gases; con propiedades reológicas controladas que se hacen circular hacia la parte interior de la sarta de perforación a través de la broca y hacia la parte superior del anulo de la tubería, es decir, hacia la superficie²⁸. La empresa Schlumberger, define fluido de perforación como; “cualquier serie de fluidos ya sea líquidos, gases o mezclas de fluidos con sólidos, utilizados en operaciones de perforación para controlar el pozo”²⁹. Las sustancias químicas más comunes presentes en los fluidos de perforación son: bentonita, barita, soda caustica, diversas sales, cloruro de calcio, cloruro de potasio y variedad de polímeros orgánicos.

2.1.1 Propiedades de los fluidos de perforación. Las propiedades fundamentales de los fluidos de perforación son:

- Densidad
- Velocidad de los cortes
- Esfuerzo de corte
- Fuerza gel
- Índice de flujo
- Viscosidad
- pH
- Temperatura
- Contenido de sólidos
- Alcalinidad
- Lubricidad

²⁸DARLEY, Henry y GRAY, George. Composition and properties of drilling and completions fluids, 1988. 5a Edición.p.2.

²⁹SCHULMBERGER.Oilfield glosary. En: Schulmberger [En línea]
<ttp://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/d/drilling_fluid.aspx>

2.1.2 Funciones de los fluidos de perforación. Los fluidos de perforación tienen como función principal servir de medio de circulación a cortes de perforación para que salga a la superficie, además provee unas funciones secundarias al proceso de perforación, estas funciones incluyen aspectos técnicos, ambientales y geográficos³⁰. Las funciones de los fluidos de perforación se muestran en el **cuadro 2**.

Cuadro 2. Funciones del fluido de perforación.

1	Enfriar y lubricar la barrena, acciones cuyos efectos tienden a prolongar la durabilidad de los elementos de barrena.
2	Arrastrar hacia la superficie la roca desprendida por la barrena, para ello el fluido tiene que ser bombeado a la presión y volumen adecuado, con el fin de que el hoyo se mantenga limpio y avance eficazmente.
3	Depositar sobre la pared del hoyo un revoque delgado y flexible y lo más impermeable posible que impida la filtración excesiva de la parte líquida del fluido hacia las formaciones.
4	Controlar por medio del peso del fluido la presión de las formaciones que corta la barrena.
5	Controlar las presiones de la formación.
6	Soportes de las paredes del hoyo.
7	Obturar las formaciones permeables.
8	Mantener la estabilidad del pozo.
9	Minimizar daños a la formación
10	Controlar la corrosión.
11	Enfriar, lubricar y alivianar la columna de perforación.
12	Minimizar el impacto sobre el medio ambiente
13	Transmitir energía hidráulica a herramientas y trepano

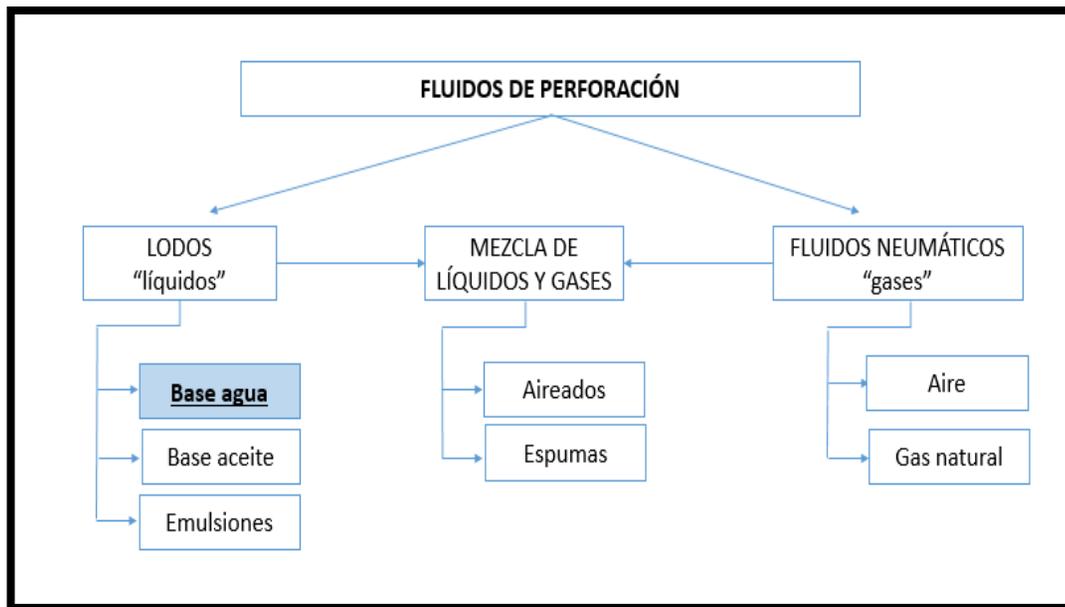
Fuente: DARLEY, Henry y GRAY, George. Composition and properties of drilling and completions fluids, 1988. 5a Edición.p.2. (Modificado por los autores)

Como se muestra en el **Cuadro 2**, estas funciones secundarias hacen que el proceso de perforación se logre de una manera óptima y segura.

³⁰DARLEY, Henry y GRAY, George. Composition and properties of drilling and completions fluids, 1988. 5a Edición.p.2..p.2.

2.1.3 Clasificación de los fluidos de perforación. Los fluidos de perforación se pueden clasificar de acuerdo a su fluido base, se encuentran: agua, aceite o emulsiones como se muestra en la Figura 3. En su composición interactúan tres partes principales: la parte líquida, la parte sólida, compuesta por material soluble que brinda las características tixotrópicas y los aditivos, que son materiales insolubles de alta densidad que le brindan la viscosidad requerida al fluido de perforación.

Figura 3. Clasificación de los fluidos de perforación.



Fuente: DÍAZ, Lig. MOTA, Madglorys. Evaluación de los aceites minerales VASSA LP-120-0A y VASSA LP-120-0AE, para la preparación de fluidos de perforación 100% aceite diseñado para las perforaciones costa afuera en el Campo Dragon-Norte de Paria. (Tesis de grado). Universidad del Oeste. Puerto la Cruz .2009. P.19-35. (Modificada por los autores).

La **Figura 3**, representa la clasificación general de los fluidos de perforación donde los fluidos más utilizados son de tipo líquido, como lo son; los base aceite, emulsiones y base agua.

2.1.3.1 Lodos en base agua. Estos lodos constan de una fase continua de agua (dulce o salda) en la cual están suspendidos arcilla y otros sólidos (reactivos e inertes). Los sólidos inertes son sólidos químicamente inactivos, los cuales están suspendidos en la fase agua como caliza, dolomita y arena. Otros sólidos como la barita y galeta ayudan a controlar la densidad del lodo³¹. Las ventajas y desventajas de los lodos en base agua son:

- **Ventajas**

- Mayor facilidad cuando se usa agua dulce, al trabajar con agua salada es imposible la operación cuando la presencia de sólidos de baja gravedad específica aumenta, en un porcentaje mayor al 9% en volumen.
- Un 15-20% más económico que los lodos base aceite.

- **Desventajas**

- Daño potencial a la formación.
- Sujeto a contaminación.
- Afectado adversamente por las altas temperaturas.

Según las ventajas y desventajas del fluido de perforación base agua presentados, cabe mencionar que su aplicación es muy variada ya que se utiliza en todas las fases de perforación, debido a la eficiencia en la remoción de sólidos en suspensión, teniendo en cuenta su bajo costo con respecto a otros tipos de fluidos. Entre los fluidos de perforación base agua más conocidos a nivel mundial se encuentran el *Boremax*, Hydro-guar, Perfomadril y Shaledril fabricados por multinacional Halliburton; Otros como el Drilplex, Durathem, Evirotherm y Grydril fabricados por la empresa Mi-swaco, entre otros.³²

Los fluidos de perforación son generalmente clasificados de acuerdo a su fase continua, la cual puede ser agua, aceite o aire, o en algunos casos nitrógeno, como se explicó anteriormente. También pueden ser clasificados de acuerdo a su peso, pesados o livianos. Partiendo de la información dada anteriormente Bautista³³ afirma que:

- **Lodos pesados:** Se refiere a cualquier lodo que se le haya adicionado barita o algún sustituto de barita para incrementar su densidad. Estos lodos normalmente tienen una densidad mayor a 10 lb/ gal (ppg). Los sólidos en un

³¹BAROID. Manual de fluidos. Houston. 2005. cap. 15. p. 4.

³²ESPINOSA, Andrés. QUIROGA, Karen. Desarrollo de un proceso para el acondicionamiento de los cortes de perforación como fertilizante de un campo petrolero. (Trabajo de grado). Fundación Universidad de América. Bogotá. 2013. p. 35.

³³Bautista, Puente, L.A. Manejo de desechos y deshidratación (dewatering) de los fluidos de perforación base agua. (Tesis de pregrado). Universidad nacional de ingeniería. Facultad de ingeniería de petróleo, gas natural y petroquímica. Lima-Perú. 2010. p. 11.

lodo pesado son los que han sido perforados en el hueco más la barita, además algunas veces se adicionan polímeros para mejorar las características del fluido.

- Lodos livianos: se refiere a cualquier lodo al que no se le ha adicionado barita. Este tipo de lodos normalmente tiene una densidad menor de 10.0 lb/gal (ppg). Los sólidos contenidos en un lodo liviano corresponden a los sólidos perforados más los polímeros comerciales.

2.1.3.2 Lodos en Emulsión de Aceite. Estos lodos son lodos en base agua que contienen aceite emulsificador disperso o suspendido en una fase continua de agua “los lodos en emulsión son menos costosos que los lodos en base aceite, y poseen muchas características de estos”³⁴.

2.1.3.3 Lodos en Base Aceite. “Estos lodos constan de una fase continua de aceite en la cual están suspendidos arcillas y otros sólidos”³⁵. Los lodos base aceite son usados en operaciones especiales de perforación, es decir condiciones como temperaturas extremadamente altas o en formaciones muy sensibles al agua donde no se pueden usar lodos en base agua. Cabe mencionar que este tipo de fluido se utiliza principalmente en la sección fase productiva, es decir, cuando se está cerca del yacimiento, con el fin de hacer más miscible el fluido y proteger la formación. Las ventajas y desventajas de los fluidos de perforación base aceite son:

- **Ventajas**

- Minimiza el daño de la formación.
- Evita la hidratación de las arcillas.
- Provee mejor lubricación (Reduce el toque, el arrastre y la pega de la tubería).
- Minimiza la corrosión de la tubería.
- Estabilidad en altas temperaturas.

- **Desventajas**

- Susceptible a contaminación con agua, aireamiento y espumamiento.
- Inflamable.
- Son 15-20 % más caro que los lodos en base agua.
- Ensuciador y peligroso.
- Genera residuos contaminantes.

2.2 CORTES DE PERFORACIÓN

Según la guía de manejo ambiental para proyectos de perforación de 1999 y el decreto 605 de 1996 “Los cortes de perforación son un residuo sólido no peligroso

³⁴DARLEY, Henry y GRAY, George. Composition and properties of drilling and completions fluids, 1988. 5a Edición.p.65.

³⁵ PEMEX. Manual para ayudante de perforación (Cabo, perforador y malacatero). Méjico. 2009. P.272.

típico de la actividad de perforación que tiene como características ser una roca extraída del subsuelo durante la perforación, contaminada con fluido de perforación”³⁶. “Estos residuos presentan una fase semi-sólida y proviene de diferentes equipos del sistema del control de sólidos variando el diámetro de partícula que lo contiene. Se caracteriza por ser temporalmente almacenados en tanques para después ser trasladados a las piscinas para su tratamiento.”³⁷.

2.2.1 Generación de los cortes de perforación.“La generación de los cortes tiene lugar una vez el fluido es inyectado al pozo de perforación, generando arrastre de sólidos y desprendimiento de la tierra hasta la superficie. En el momento en que los cortes se desprendan de las paredes de la formación, inicia un continuo proceso de reducción de tamaño por la fricción con otras partículas, es por eso que el área superficial se incrementa debido al desgaste expuesto entre las paredes del pozo y los sólidos desprendidos y por consiguiente el corte adquiere una composición similar a la del fluido de perforación”³⁸.

La generación de los cortes de perforación depende de muchos aspectos, entre los más relevantes se encuentra el tipo del fluido de perforación (base agua o base aceite), profundidad del pozo, formación geológica (cuerpos de rocas estratificados), y ROP´s con que la broca perfora³⁹. Explicados a continuación:

- Tipo de fluido de perforación: fluidos base agua en presencia de arcillas reactivas, provoca que los cortes de perforación salgan con un mayor tamaño, los fluidos de perforación base aceite en contacto con la formación, no altera sus propiedades logrando cortes de perforación de menores tamaños.
- Profundidad del pozo: pozos a mayor profundidad tendrán cortes de perforación con un menor tamaño, en la sección más profunda y pozos someros tendrán cortes de perforación con un diámetro mayor, en la sección más profunda.
- Formación geológica: Formaciones consolidadas tendrán un tamaño de corte menor y formaciones poco consolidadas tendrán un tamaño de corte mayor.
- ROP´s de perforación: Altas ROP´s los cortes saldrán de un mayor tamaño y bajos ROP´s los cortes saldrán de un menor tamaño.

³⁶ MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Guía de manejo ambiental para proyectos de perforación, de pozos de petróleo y gas. Bogotá. 1999. p.34.

³⁷ BELTRÁN, Oscar. DÍAZ, Fabio. Evaluación de la disposición de residuos y fluidos generados a partir del proceso de secado de cortes en la perforación de los pozos petrolíferos con lodos base agua en el campo A. (trabajo de grado). Fundación Universidad de América. Bogotá. 2011. p.46.

³⁸ MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Guía de manejo ambiental para proyectos de perforación, de pozos de petróleo y gas. Bogotá. 1999. p.45

³⁹ ESPINOZA, Andrés y QUIROGA, Karen. Desarrollo de un proceso para el acondicionamiento de los cortes de perforación como fertilizante de un campo petrolero. Bogotá. 2013. p.44.

2.2.1.1 Composición de los cortes de perforación. La composición de los cortes se presenta de dos maneras, como se muestra en el **cuadro 3**.

Cuadro 3.Composición de los cortes de perforación.

FUENTE	COMPOSICIÓN
Primera	Partículas que se desprenden del interior de las rocas molidas por la acción giratoria de la broca y generalmente están constituidas por distintos tipos de rocas sedimentadas, minerales naturales
Segunda	Contenido del fluido de perforación, ya que los cortes suelen estar impregnados del fluido de perforación, y su composición varían de pozo a pozo, esto depende de la fase en la que se está perforando, es decir, implica la profundidad y el diámetro que se está utilizando.

Fuente:ESPINOSA, Andrés. QUIROGA, Karen. Desarrollo de un proceso para el acondicionamiento de los cortes de perforación como fertilizante de un campo petrolero. (Trabajo de grado). Fundación Universidad de América. Bogotá 2013. p.45.

Como se muestra en el **cuadro 3**, los cortes de perforación son compuestos de material sólido, roca triturada y material líquido, fluido de perforación.

Los cortes de perforación provenientes de una perforación que utiliza lodos base agua son parte del objeto de estudio del proyecto. Estos cortes se caracterizan por ser solubles y tener componentes como:

- Barita.
- Carbonato de calcio.
- Bentonita.
- Arcillas.
- Aditivos químicos (biocidas, bactericidas, anticorrosivos, espesantes, controladores de pH, polímeros, sales orgánicas y metales pesados).

2.3 MÉTODOS DE CONTROL DE SÓLIDOS EN EL FLUIDO DE PERFORACIÓN

El objetivo del control de sólidos es mantener el tipo, tamaño y concentración de los sólidos en el fluido de perforación en niveles aceptables a un razonable costo⁴⁰. El tamaño de la partícula está definido de acuerdo al tipo de aditivo que tiene el lodo, la mayoría tiene arcillas y aditivos que mejoran sus propiedades donde su tamaño no supera los 2 micrones, su concentración está definida por el

⁴⁰ PDVSA. Control de sólidos en fluidos de perforación. Venezuela.2004. p.5.

tipo de lodo de cada sección y sus aditivos, para el caso de estudio se especifican en la tabla 1 del capítulo 1. Los métodos de control de sólidos más utilizados son:

2.3.1 Método de separación mecánica. Las operaciones modernas de perforación de pozos petroleros requieren de un método eficiente de control de sólidos. El método de separación mecánica de sólidos, permite mantener la cantidad de sólidos en el fluido de perforación dentro de los porcentajes exigidos por las operaciones, este porcentaje lo determina la prueba de retorta que se efectúa al lodo una vez es tratado.

Este método utiliza las fuerzas centrífugas (hidrociclones y centrífugas) y gravitacionales (Zaranda y trampa de arena) para lograr remover los sólidos del fluido de perforación.⁴¹

2.3.2 Método de separación química. Hay situaciones en las que los sólidos de los fluidos son muy pequeños para removerlos por el método de separación mecánica, entonces, se debe usar productos químicos como coagulantes y floculantes, los cuales agrupan los sólidos pequeños para obtener un tamaño y peso adecuado que permita su remoción en los equipos mecánicos. Este método se conoce como Mejoramiento Químico en la Centrífuga (MQC)⁴².

2.4 EQUIPO MECÁNICO DE REMOCIÓN DE SÓLIDOS

Uno de los principales sistemas en un taladro de perforación es el sistema de circulación del fluido de perforación. Como parte fundamental del sistema de circulación se halla la sección de remoción de sólidos, que conforman los equipos de control de sólidos⁴³.

Las operaciones de los dispositivos de control mecánico de sólidos están dirigidas por los siguientes principios⁴⁴:

Procesamiento en secuencia: se refiere a que el 100% del fluido de perforación debe pasar por un dispositivo antes de ingresar al otro. De esta manera se garantiza que cada equipo va removiendo los sólidos de mayor a menor tamaño en forma secuencial.

Procesamiento de flujo total: todo el fluido de perforación deberá pasar por los dispositivos de control de sólidos antes de volver al pozo.

⁴¹ UNAM. Procesos de separación I. México.2012. p.3.

⁴² LEGUÍZAMO, Rodrigo. Manual de entrenamiento básico para el sistema de control de sólidos. Bogotá. 2015.p.10

⁴³ UNIVERSIDAD MAYOR REALY PONTIFICIA SAN FRANCISCO XAVIER DE CHUQUISACA. Equipos mecánicos de control de sólidos. Bolivia.2011. p.3.

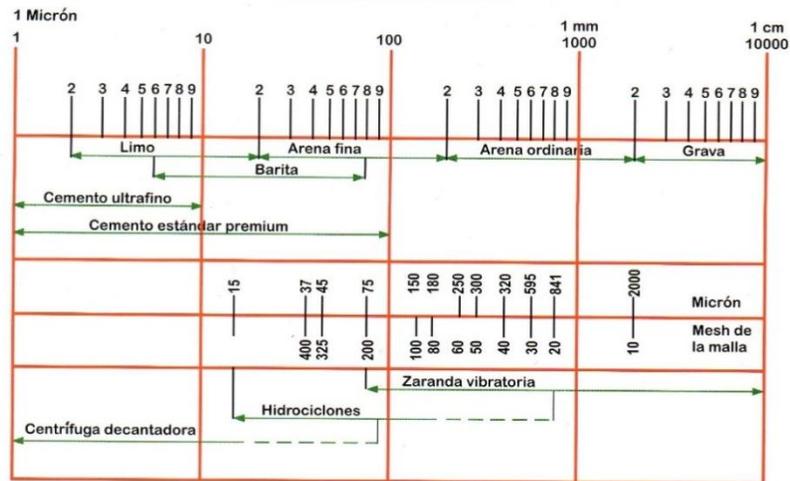
⁴⁴ LEGUÍZAMO, Rodrigo. Manual de entrenamiento básico para el sistema de control de sólidos. Bogotá. 2015.

No hacer bypass: El bypass se refiere a evitar que el fluido pase por alguno de los dispositivos de remoción de sólidos, generalmente por las zarandas, estas prácticas pueden llevar a mayores costos de mantenimiento del fluido de perforación y daño en los otros equipos que se hallan aguas abajo.

Los dispositivos de control de sólidos permiten remover el material que no se desea tener en el fluido de perforación, el cual será descargado hacia piscinas de disposición final. El fluido útil se desplaza hacia la sección de adición de químicos para obtener los parámetros requeridos por la operación.

En la **Figura 4** se muestran los equipos usados para retirar las diferentes partículas sólidas del fluido de perforación.

Figura 4. Equipos mecánicos para remoción de sólidos.



Fuente: LEGUÍZAMO, Rodrigo. Manual de entrenamiento básico para el sistema de control de sólidos. Bogotá. 2015. p.65.

En la **Figura 4**, se muestra los distintos tamaños de partículas que pueden estar presentes en el lodo, con su respectivo equipo de control de sólido a utilizar, para remover cada partícula no deseada.

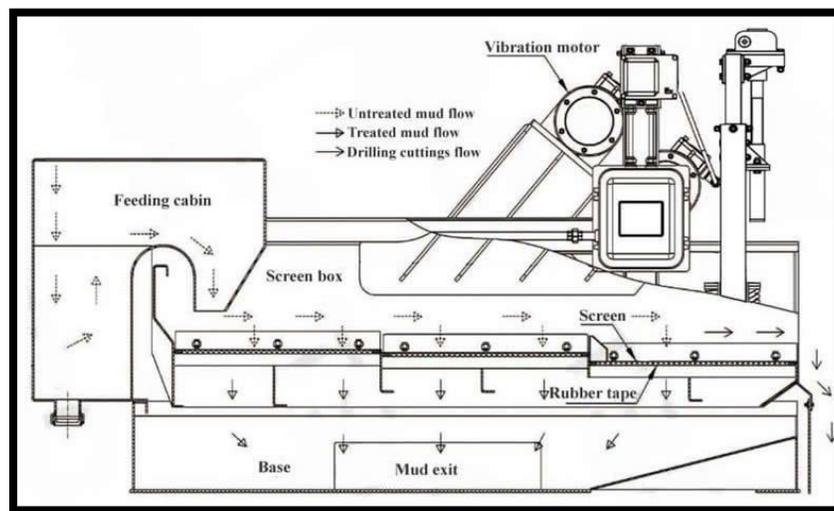
Los equipos que remueven sólidos mecánicamente pueden clasificarse en dos grupos principales:

- Equipos de remoción primarios, tales como las zarandas.
- Equipos de remoción secundaria, tales como los hidrociclones y la centrifuga decantadora.

2.4.1 Zarandas vibratorias. Las zarandas vibratorias son el equipo más importante de control de sólidos, estos equipos contienen mallas (tamices) que eliminan los recortes del lodo. Es el único equipo permanente del control de sólidos que basa su funcionamiento en el tamaño físico de las partículas, es decir a partir de las mallas de tamaño de partícula conveniente, separa la fase líquida de la fase sólida por diferencia de tamaños de partícula, estos equipos logran remover partículas con un tamaño mayor a 75 micrones. El uso de la vibración mejora la eficiencia de la separación de los sólidos a través de una malla⁴⁵.

2.4.1.1 Funcionamiento. Su funcionamiento se muestra en la **Figura 5**.

Figura 5. Diagrama de proceso de las zarandas.



Fuente: BRIGHTWAY. Zarandas. **En:** Brightway [En línea] <http://es.brightwaysolids.com/Linear-Motion-Shale-Shaker_p15.html>

En la **Figura 5**, muestra que el funcionamiento de la zaranda, está conformado por un movimiento vibratorio en la malla, para lograr la separación de los cortes.

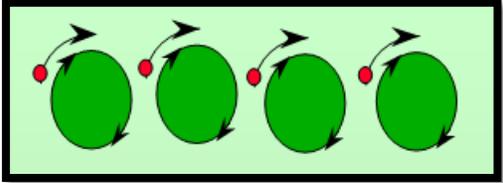
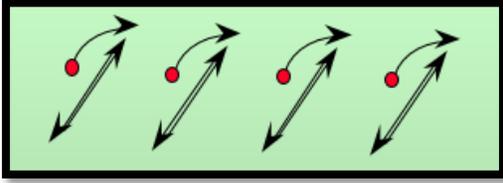
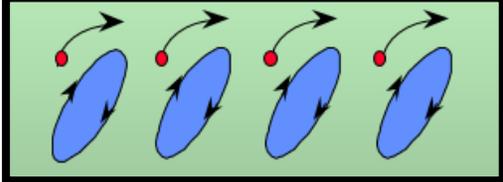
2.4.1.2 Parámetros y variables de una zaranda

- **Movimiento de zaranda:** "la principal clasificación de las zarandas se debe al movimiento que genera sobre el tamiz el ensamble vibrador"⁴⁶. Actualmente se usan tres tipos básicos de zarandas, como se muestra en el **cuadro 4**.

Cuadro 4. Tipos de vibración en la zaranda.

⁴⁵ UNIVERSIDAD MAYOR REALY PONTIFICIA SAN FRANCISCO JAVIER DE CHUQUISACA. Equipos mecánicos de control de sólidos. Bolivia.2011. p.4.

⁴⁶ MISWACO. Curso de adiestramiento, control de sólidos. Mexico.2002.

TIPO	CARACTERÍSTICAS	IMAGEN
Circular	<ul style="list-style-type: none"> - Movimiento circular uniforme. - Patrón de vibración balaceado. <li style="padding-left: 20px;">- Transporte rápido. - Útil para remoción de sólidos grueso. 	
Lineal	<ul style="list-style-type: none"> - Se usando dos vibradores contra-rotativos. - Patrón de vibración balaceado dinámicamente. - Buen transporte y gran capacidad de manejo de fluidos. - Recomendadas para todo tipo de operación que requiera el uso de mallas finas. 	
Elíptico	<ul style="list-style-type: none"> - Centro de gravedad por encima de la cubierta <li style="padding-left: 20px;">- Patrón de vibración desbalanceado. - Recomendados para remover sólidos gruesos o pegajosos 	

Fuente:MISWACO. Curso de adiestramiento, control de sólido. Méjico. 2002. (modificado por los autores)

El **cuadro 4**, muestra como es el movimiento de los cortes, de acuerdo a la vibración que genera el motor en la zaranda, cuando se encuentra el fluido en contacto con la malla.

- **Angulo de inclinación:** para que la zaranda tenga un buen funcionamiento, el fluido debe llenar el 75 % de la canasta, así se asegura que va a remover los cortes más grandes de una manera más seca y que en ningún momento la malla colapsara.

Los cambios en la inclinación de la canasta afectan la velocidad del avance del fluido y el tiempo de retención. Según la posición son obtenidas las siguientes características en la remoción de sólidos⁴⁷:

Aumento de la inclinación: Si la pendiente es cuesta abajo, aumenta la velocidad de la marcha del fluido y disminuye el tiempo de retención; por lo cual, los ripsos son descargados más húmedos y se maneja un mayor caudal de lodo. Si el ángulo es cuenta arriba (máximo 3 grados). Los cortes van lentamente hacia delante y su descarga es más seca.

Disminución de la inclinación: Mientras más cercana es la posición horizontal, es reducida la velocidad del avance del fluido, y aumenta el tiempo de retención; por lo cual, el corte es descargado más seco, pero a su vez se maneja menor caudal.

- **Fuerza G o dinámica de vibración:** “es la capacidad que tiene la zaranda para desplazar el fluido y los cortes sobre la malla, es directamente proporcional a la capacidad de flujo que tenga la zaranda y secado de los cortes, pero inversamente proporcional a la vida útil de las mallas”⁴⁸.

⁴⁷ MISWACO. Curso de adiestramiento, control de sólidos. Mexico.2002.

⁴⁸ Ibid.2002.

2.4.1.3 Mallas de las Zarandas.Un método de remoción mecánica de sólidos para el fluido de perforación es circular sobre una superficie tamizada. Las partículas más pequeñas que las aberturas de la malla, pasan a través de ella, junto con la fase líquida del lodo y las más grandes recorren de un lado a otro la canasta y de ese modo son separados para su posterior disposición⁴⁹, para lograr una buena remoción de los cortes, se deben tener en cuenta:

2.4.1.4 Punto de corte. El punto de corte o potencial de separación es el porcentaje de partículas del tamaño específico, en micrones, que se puede remover. Los puntos de corte se indican con la letra D y con un subíndice que muestra el porcentaje eliminado. Las designaciones más comunes para las mallas son D_{50} que representa que el 50% de las partículas sólidas son eliminadas por el dispositivo de control de sólidos. También hay las designaciones de D_{84} y D_{16} ⁵⁰.

2.4.1.5 Finura de la malla o mesh. El tamaño de abertura del tamiz determina el tamaño de partículas que un tamiz puede remover. El mesh es el número de aberturas por pulgada lineal medidas desde el centro del alambre. Por ejemplo, un tamiz de malla oblonga 70x30 (abertura rectangular) tiene 70 aberturas a lo largo de una línea de una pulgada en sentido, y 30 aberturas a lo largo de una línea de una pulgada perpendicular a la primera⁵¹.

2.4.1.6 Tipo de mallas.Las mallas utilizadas hoy en día en zarandas vibratorias, se diferencian según la construcción o el diseño y fineza, son hechas de tejidos de alambre entrelazado y telas metálicas, fabricadas con una o más capas⁵². El **cuadro 5** se puede mostrar las distintas mallas que se manejan en el mercado actualmente.

⁴⁹MOLINA, Miguel. Técnicas desarrolladas de los sistemas de control de sólidos de los fluidos de perforación. (Tesis de grado). Universidad Nacional De Ingeniería. Perú. 2009.p .30.

⁵⁰ LEGUÍZAMO, Rodrigo. Manual de entrenamiento básico para el sistema de control de sólidos. Bogotá. 2015. p.118.

⁵¹BAUTISTA, Luis. Manejo de desechos y deshidratación (dewatering) de los fluidos de perforación base agua. (Tesis de pregrado). Universidad nacional de ingeniería. Facultad de ingeniería de petróleo, gas natural y petroquímica. Lima-Perú. 2010. p.22.

⁵²MOLINA, Miguel. Técnicas desarrolladas de los sistemas de control de sólidos de los fluidos de perforación. (Tesis de grado). Universidad Nacional De Ingeniería. Perú. 2009. p.33.

Cuadro 5.Tipos de mallas

TIPO	CARACTERÍSTICAS
Malla no intercalada	<ul style="list-style-type: none"> - Tiene solo una capa sencilla de mesh fino. - Las aberturas regulares en tamaño y forma.
Mallas intercaladas	<ul style="list-style-type: none"> - Tienen dos o más capas de mesh diferente. - Las aberturas son variadas en tamaño y forma. - Tiene larga vida útil.
Malla de soporte ordinario	<ul style="list-style-type: none"> - Posee un soporte extra para proteger la malla fina.
Mallas pretensionadas	<ul style="list-style-type: none"> - Posee una capa de malla fina y un tejido ordinario de refuerzo, pegados a un armazón metálico que sirve como soporte. - Tienen larga vida útil. - Fáciles de instalar. - Son rígidas. - Se dividen en planas y piramidales.
Mallas bidimensionales de panales	<ul style="list-style-type: none"> - Dos o tres capas unidas a una plataforma metálica doblada en forma de gancho.
Mallas bidimensionales de placas perforadas	<ul style="list-style-type: none"> - Dos o tres capas unidas a una placa metálica o plástica perforada. - Tienen buena resistencia. - Fáciles de reparar. - Económicas.
Mallas tridimensionales	<ul style="list-style-type: none"> - Mallas con superficie corrugada, paralela al flujo de fluido. - Tiene mayor área de contacto. - Se dividen en piramidales o meseta

Fuente:LEGUÍZAMO, Rodrigo. Manual de entrenamiento básico para el sistema de control de sólidos. Bogotá. 2015. p.112-113.

En el **cuadro 5**, se muestran los tipos de mallas que se utilizan en las zarandas, la mallas que mejor se acomoda a las condiciones de operación son las mallas

pretensiones, ya que soportan grandes esfuerzos, son fáciles de instalar y tiene un tiempo de vida útil amplio.

2.4.1.7 Tamaño de la abertura. Es la distancia entre alambres en el tejido de la malla en fracciones de pulgada o micrones. El tamaño de la abertura de la malla determina la medida de partículas que pueden remover⁵³.

2.4.1.8 Porcentaje de área abierta. Es la cantidad de superficie de la malla que no está bloqueada por los alambres o la estructura del soporte. Es función del grosor de los hilos, es decir, el área efectiva abierta de la malla por donde es llevado a cabo el tamizado⁵⁴.

En la **Tabla 2** se muestran los tamaños de malla (tipo pretensionadas), punto de corte y área abierta.

Tabla 2.Área abierta según el mesh de la malla.

MESH/API	PUNTO DE CORTE	AREA ABIERTA
52 (API 45)	338 μ	48%
84 (API 70)	212 μ	49%
105 (API 80)	162 μ	45%
120 (API 100)	149 μ	50%
145 (API 140)	112 μ	41%
165 (API 140)	104 μ	47%
200 (API 170)	87 μ	46%
230 (API 200)	74 μ	45%

Fuente: MISWACO. Curso de adiestramiento, control de sólido. Méjico. 2002. (Modificada por los autores)

La **Tabla 2**, muestra el porcentaje de área efectiva abierta de la malla de acuerdo a los mesh más utilizados en el mercado, observando que a menor mesh de la malla mayor será el punto de corte y el porcentaje de área abierta de la malla.

⁵³LEGUÍZAMO, Rodrigo. Manual de entrenamiento básico para el sistema de control de sólidos. Bogotá. 2015. p.114.

⁵⁴ MISWACO. Curso de adiestramiento, control de sólidos. Mexico.2002.

2.4.1.9 Capacidad de flujo. Las dos variables comprendidas en la capacidad de flujo son: la conductancia y el área no tapada o espacio abierto. Conductancia es la cantidad global de espacio abierto entre los alambres, en kilodardys/milímetro. El área abierta es el área efectiva total de separación por panel o área no ocupada por los alambres, en pies cuadrados.⁵⁵

2.4.2 Zarandas de doble piso. La zaranda de doble piso es una combinación insuperable para el control de los sólidos, es una zaranda con funcionamiento muy similar a una zaranda tradicional, dotada con una malla adicional proporcionando nuevos niveles de eficiencia, como se muestra en la **Figura 6**.

Figura 6. Zaranda de doble piso.



Fuente:BRIGHTWAY. Zarandas. En:Brightway [En línea]<http://es.brightwaysolids.com/Linear-Motion-Shale-Shaker_p15.html >

Este tipo de zarandas cumplen la función de las zarandas primarias y secundarias, ya que en la malla superior remueve los cortes más grandes (1000 micrones) y la malla de la parte inferior retira los cortes medianos (mayores a 75 micrones),

⁵⁵MOLINA, Miguel. Técnicas desarrolladas de los sistemas de control de sólidos de los fluidos de perforación. (Tesis de grado). Universidad Nacional De Ingeniería. Perú. 2009. p.32.

logrando ahorrar espacio en la locación y una separación directa de los cortes de perforación más grandes.

Las diferentes condiciones de perforación requieren diferentes tasas de aceleración y ángulos de la cubierta. Para los aumentos repentinos de fluidos y sólidos pesados de carga, la zaranda de doble piso es ideal para soportar las grandes cargas y así lograr una mejor separación. Se utiliza un movimiento elíptico balanceado 7,5 G cuando los volúmenes de cortes más grandes requieren una mayor aceleración, una mayor tasa de transporte y un movimiento uniforme a través de toda la cubierta de la malla. “Una aceleración de 6,5 G produce un movimiento elíptico lento que elimina rápidamente los sólidos del lodo, mientras que un movimiento elíptico alto maximiza la retención y produce cortes más secos”⁵⁶.

El ángulo la cubierta de estos equipos se puede manejar de acuerdo a la carga de sólidos que tenga el fluido. Se pueden lograr ángulos entre -1 y 3°. Su funcionamiento consiste: En la entrada del fluido al equipo, el cual entra en contacto con la malla superior, la cual debe tener un mesh entre 12- 22, para lograr la remoción de los sólidos de mayor tamaño (10mm-5mm). Luego el fluido se dirige a la malla inferior, con un mesh alrededor de (95-120) logrando remover los sólidos de tamaño mayor a 0.7mm.⁵⁷

- **Ventajas del uso de zaranda**

- Fácil operación.
- Si el tamizado de la malla es conocido, el punto de corte es predecible.
- Fácil de inspeccionar.
- Capaz de procesar el volumen total de fluido residual.

- **Desventajas del uso de zarandas**

- Son costosos (compra y operación).

⁵⁶SCHULMBERGER. Oilfield glosary. En: Schulmberger [En línea] <http://www.slb.com/services/drilling/solids_control/shakers/md2_shale_shaker.aspx>

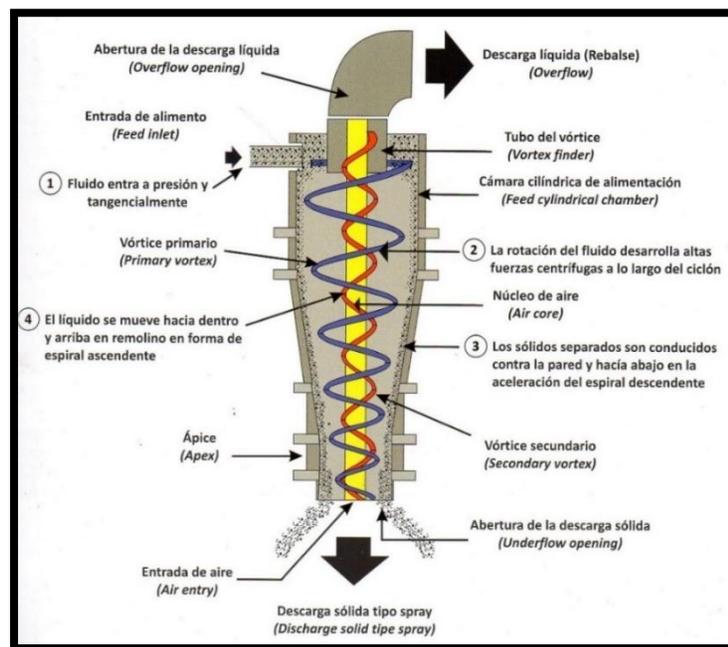
⁵⁷ SCHULMBERGER. Oilfield glosary. En: Schlumberger [En línea] <http://www.slb.com/services/drilling/solids_control/shakers/md2_shale_shaker.aspx>

- Es necesario espacio adecuado para su instalación.⁵⁸

2.4.3 Hidrociclones. Los hidrociclones o separadores centrífugos tipo ciclón, clasificados como desarenadores o desarcilladores, son dispositivos cónicos de separación de sólidos en los cuales la energía hidráulica se convierte en fuerza centrífuga.⁵⁹

2.4.3.1 Funcionamiento. El fluido de perforación sale de las zarandas, es alimentado tangencialmente, por la acción de una bomba centrífuga, a través de la entrada de alimentación del hidrociclón. Las fuerzas centrífugas desarrolladas, multiplican la velocidad de decantación de los sólidos más pesados, forzándolo hacia la pared del cono. Las partículas más livianas se desplazan hacia adentro y arriba en un remolino espiral, logrando la descarga en la parte superior⁶⁰, Como se muestra en la Figura 7.

Figura 7.Funcionamiento de un hidrociclón.



Fuente:LEGUÍZAMO, Rodrigo. Manual de entrenamiento básico para el sistema de control de sólidos. Bogotá. 2015. p.153.

En la **Figura 7** se muestra, como es el comportamiento del fluido al entrar en un hidrociclón, y la separación de los sólidos en el cono, generando dos vórtices, el

⁵⁸ PDVSA. Control de sólidos en fluidos de perforación. Venezuela.2004.p.20.

⁵⁹ LEGUÍZAMO, Rodrigo. Manual de entrenamiento básico para el sistema de control de sólidos. Bogotá. 2015.p.150

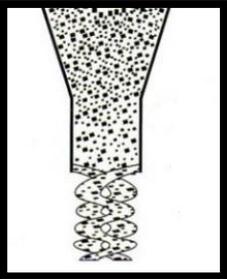
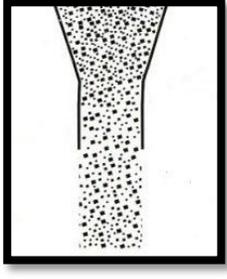
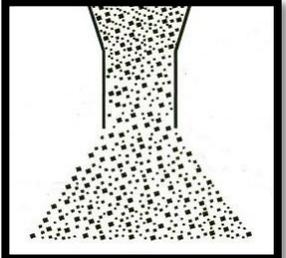
⁶⁰ Ibid.p.152

primero que desciende logrando la separación y el segundo que asciende por el medio del cono, con el fluido limpio.

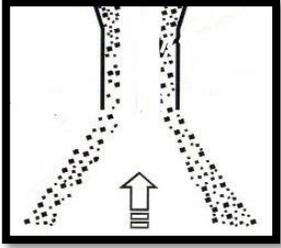
2.4.3.2 Parámetros y variables de los hidrociclones.

- **Tipo de descarga:** la operación eficiente de los hidrociclones depende en gran parte del tipo de descarga inferior generada, como se muestra en la **cuadro 6**.

Cuadro 6. Tipos de descarga del hidrociclón

TIPO	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
Tipo sogá	Ocurre cuando hay remoción de una cantidad de partículas grandes y mínimo descargue de sólidos finos	
Tipo chorro	El cabezal de distribución está totalmente tapado, el lodo sale por la parte inferior con la misma concentración de sólidos.	
Tipo paraguas	Ocurre cuando la bomba centrífuga se encuentra obstruida o el impulsor no es el más apropiado, el lodo sale por la parte inferior con la misma concentración de sólidos.	

Cuadro 6. (Continuación)

Tipo spray	Ocurre cuando el cono está operando con alta eficiencia.	
------------	--	---

Fuente:MISWACO. Curso de adiestramiento, control de sólidos. Mexico.2002. (modificada por los autores)

Como se muestra en el**cuadro 6**, la descarga más adecuada en la operación es de tipo spray, para lograr una buena operación en los hidrociclones la bomba centrífuga que impulse el fluido debe proporcionar una presión igual a 4 veces el peso del lodo para la entrada al cono, de lo contrario se presentarían descargas sólidas inadecuadas y pérdidas de fluido.

- **Diámetros de los hidrociclones:** el tamaño de los hidrociclones varía entre 2" y 12" de diámetro interior (sección más grande), como se muestra en la **Tabla 3**. En cuanto menor sea el diámetro del cono, este será capaz de remover partículas más pequeñas, ya que la fuerza centrífuga creada es inversamente proporcional a la dimensión del ciclón, operando a una fuerza de impulso constante⁶¹.

Tabla 3.Características de los hidrociclones según su diámetro.

ÍTEM	DIÁMETRO INTERNO DEL CONO (Pulg)	CAPACIDAD POR CONO (GPM / Cono)	PRESIÓN (PSI)	PUNTO DE CORTE (μ)
1	4	50 - 75	30 - 40	15 - 20
2	5	70 - 80	30 - 40	20 - 25
3	6	100 - 150	30 - 40	25 - 30
4	8	150 - 250	25 - 35	30 - 40
5	10	400 - 500	20 - 30	30 - 40
6	12	400 - 500	20 - 30	40 - 60

Fuente:LEGUÍZAMO, Rodrigo. Manual de entrenamiento básico para el sistema de control de sólidos. Bogotá. 2015. p.154.

⁶¹ MISWACO. Curso de adiestramiento, control de sólidos. Mexico.2002.

En la **Tabla 3**, se muestran los diámetros de cono más utilizados en el mercado, su capacidad de separación de cortes (punto de corte), el rango de operación y su capacidad para cada hidrociclón.

- **Presión de alimentación:** es la carga de presión a la cual el fluido debe entrar al hidrociclón para lograr su operación, una insuficiente carga reduce la velocidad del fluido dentro del cono y afecta el potencial de separación, una carga alta causa daños en la estructura de los conos.⁶²
- **Tipo de hidrociclones:** como se muestra en la **Tabla 4**, los tipos de hidrociclones que se utilizan son para remover arenas y para remover arcillas.

Tabla 4. Tipos de hidrociclones

tipo	rango de separación	diámetro del hidrociclón	descripción
Desarenador	45-74 micrones	8-12 in	-Su función es eliminar sólidos "Arenas", que causen taponamiento a los equipos siguientes. - Capacidad de procesamiento de 30-50%.
Desarcillador	12-44 micrones	2-6 in	- Su función es eliminar sólidos "arcillas", indeseadas que se encuentren en el fluido. - Capacidad de procesamiento 125-150%

Fuente:BAUTISTA, Luis. Manejo de desechos y deshidratación (dewatering) de los fluidos de perforación base agua. (Tesis de pregrado). Universidad nacional de ingeniería. Facultad de ingeniería de petróleo, gas natural y petroquímica. Lima-Perú. 2010. p.29. (Modificado por los autores)

Como se muestra en la **Tabla 10**, es fundamental el uso de los hidrociclones, ya que cada uno cumple una función esencial en el sistema para lograr la limpieza del fluido de perforación.

- **Ventajas del uso de hidrociclones.**⁶³

- Operación simple y de fácil mantenimiento.
- Barato.

⁶² Ibid.2002

⁶³MISWACO. Curso de adiestramiento, control de sólidos. Mexico.2002.

- No tiene partes móviles.
- Su operación permite reducir costos, pues es reducido el desecho de fluido.

- **Desventajas del uso de hidrociclones.**⁶⁴

- Las propiedades del fluido afectan su desempeño.
- Su operación genera degradación de los sólidos.
- El mal funcionamiento de su cono genera excesivas pérdidas de agua.

2.4.4 Limpiador de lodo (mud cleaner). Un limpiador de lodo es básicamente una unidad desarcillador y una unidad desarenadora, montado sobre una zaranda de malla vibratoria, como se muestra en la Figura 8.

Figura 8. Mud cleaner



Fuente:SOLID CONTROL.Mud cleaner. En: Solid control [En línea].<<http://www.gnsolidscontrol.com/mud-cleaner/>>

Las mallas son muy finas (120 a 135 mesh), y como regla básica la malla del limpiador de lodo debe ser más fina que la de las zarandas.

El principal uso de limpiador de lodo es la remoción de sólidos perforados y la recuperación de fases líquidas costosas como aceite sintético, sal saturada, junto con la barita⁶⁵.

⁶⁴ Ibid.p.

“El tamaño de malla usado normalmente varía entre 100 y 200 mesh (325 mesh raramente usada debido a taponamiento y rápido daño de la malla). La descarga limpia de los conos (overflow) y el fluido tamizado por las mallas (underflow) es retornado al sistema activo”⁶⁶

2.4.4.1 Aplicaciones del mud cleaner.La principal aplicación del limpiador de lodo es para sistemas de lodo liviano donde la fase líquida es cara o ambientalmente no muy manejable (OBM).

En sistemas de lodo pesado, el costo de barita perdida es considerable y es por ello que se deben tener en cuenta su uso.

Todas las observaciones operacionales y mantenimiento de las zarandas y de los hidrociclones son aplicables a los Mud Cleaner

- **Ventajas del limpiador de lodo.**⁶⁷

- Produce los cortes más secos.
- Fácil operación.
- Es una unidad compacta.

- **Desventajas del limpiador de lodo.**⁶⁸

- Recicla sólidos finos a través sus mallas.
- Capacidad limitada por los hidrociclones.
- Separación en parte depende de los conos.

⁶⁵ BALLESTEROS, Adriana. Evaluación de diferentes sistemas para el tratamiento de residuos de perforación en el Campo Tarapoa operado por la empresa Andes Petroleum S.A. (tesis de grado) Escuela superior politécnica. .Ecuador. 2007. p.24.

⁶⁶ MISWACO. Curso de adiestramiento, control de sólidos. Mexico.2002.

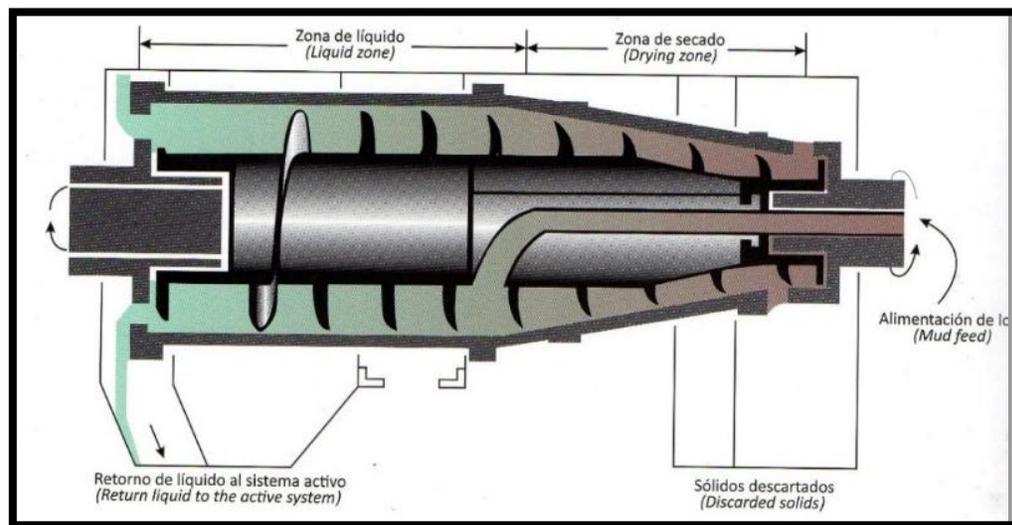
⁶⁷ Ibid.p.

⁶⁸ SCHLUMBERGER, Mud cleaner. En : Shlumberger [En línea] < cambridgelms.org/main/p/splash >

2.4.5 Centrífuga decantadora. Los sólidos que no fueron removidos por las zarandas y los hidrociclones, y requieren ser eliminados del fluido de perforación, demandan de un equipo mecánico capaz de lograr remover estos aditivos, normalmente de tamaños menores a 15 micrones, con el uso de la fuerza centrífuga, logra disminuir los sólidos indeseables en el lodo⁶⁹.

2.4.5.1 Funcionamiento. La centrífuga decantadora es básicamente un recipiente de forma cónica, conocida como bowl, rotando sobre su eje a diferentes velocidades (entre 1200 a 4000 rpm). Un tornillo sin fin, conocido como conveyor, ubicado dentro del bowl, gira en la misma dirección del bowl generando una velocidad diferencial respecto al mismo, entre 18 y 90 rpm. La velocidad diferencial permite el transporte del sólido, por las paredes del bowl a la zona seca, en donde los sólidos han sido decantados por la fuerza centrífuga. Este dispositivo descarga sólidos relativamente secos, trabaja continuamente y alcanza una alta eficiencia de separación⁷⁰. En la Figura 9 se las zonas en donde se distribuye los fluidos durante la operación.

Figura 9. Zonas de distribución de la centrífuga



Fuente: LEGUÍZAMO, Rodrigo. Manual de entrenamiento básico para el sistema de control de sólidos. Bogotá. 2015. p.186.

⁶⁹BALLESTEROS, Adriana. Evaluación de diferentes sistemas para el tratamiento de residuos de perforación en el Campo Tarapoa operado por la empresa Andes Petroleum S.A. (Tesis de grado). Escuela superior politécnica. Ecuador. 2007. P. 26.

⁷⁰MOLINA, Miguel. Técnicas desarrolladas de los sistemas de control de sólidos de los fluidos de perforación. (Tesis de grado). Universidad Nacional De Ingeniería. Perú. 2009. p. 40-41.

En la **Figura 9**, se muestran dos zonas de distribución, una zona seca, en donde se encuentran los sólidos recuperados y una zona líquida, en donde se encuentra el líquido ya tratado.

2.4.5.2 Parámetros y variables de la centrífuga.

- **Arreglo de la centrífuga:** normalmente en un sistema de control de sólidos donde se utilizan distintos tipos de lodos, es muy importante el arreglo de las centrífugas en el sistema.

Un arreglo en serie, se utiliza para la recuperación de barita, en cambio un arreglo en paralelo, es para una remoción de todos los sólidos no deseados en el fluido⁷¹.

- **Tipo:**La centrífuga de baja velocidad cuyos parámetros de operación son:

Velocidad del bowl:	1250-2500 rpm
Profundidad del depósito:	2.1 pulgadas
Velocidad diferencial:	23-44 rpm

La centrífuga de baja velocidad está diseñada para recuperar barita en fluidos densificados, mientras descarta los sólidos perforados. Para fluidos no densificados se usa para descartar sólidos perforados. Al aumentar la velocidad del bowl se aumenta la eficiencia de separación.

La centrífuga de alta velocidad cuyos parámetros de operación son:

Velocidad del bowl:	2500 – 4000 rpm
Profundidad del depósito:	2.1 pulgadas
Velocidad diferencial:	Mínima

La centrífuga de alta velocidad descarta y controla los sólidos del fluido para lodos no densificados. Al trabajar con una máxima fuerza G se obtiene un punto de corte más fino. Esta centrífuga se usa para recuperar el líquido efluente de la centrífuga de baja velocidad, en configuración dual, permitiendo recuperar fluidos muy costosos⁷².

- **Fuerza G:**Es el número de veces que se incrementa la gravedad por la acción de la velocidad de rotación del cilindro de la centrífuga decantadora.⁷³En la **Tabla 5** se muestran la fuerza g más comunes de acuerdo al tipo de centrífuga.

⁷¹MISWACO. Curso de adiestramiento, control de sólidos. Mexico.2002.

⁷² LEGUÍZAMO, Rodrigo. Manual de entrenamiento básico para el sistema de control de sólidos. Bogotá. 2015. p.186.

⁷³MISWACO. Curso de adiestramiento, control de sólidos. Mexico.2002.

Tabla 5.Fuerza G de las centrífugas decantadoras más comunes.

CENTRÍFUGA	VELOCIDAD DEL BOWL (RPM)	FUERZA G
Recuperadora de barita	1900	720
Alta velocidad	2500	1250
Alta velocidad	3200	2100

Fuente: MISWACO. Curso de adiestramiento, control de sólidos. Mexico.2002.

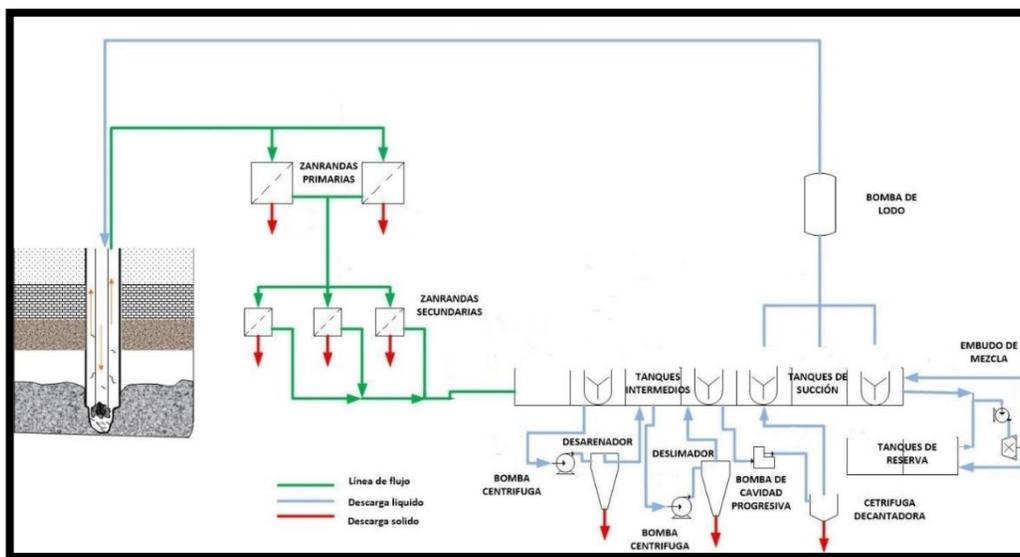
En la **Tabla 5** se muestra, que entre mayor velocidad haya bowl, mayor es el valor de la fuerza g, por consiguiente, será mejor la limpieza del fluido.

2.5 SISTEMAS EXISTENTES DE ACUERDO AL TIPO DE FLUIDO DE PERFORACIÓN

Los sistemas de control de sólidos dependen del tipo de fluido que se va a ser utilizado en el proceso de perforación, se dividen en:

2.5.1 Sistema de control de sólidos para un fluido de perforación liviano. La configuración del sistema se puede observar en la **Figura10**.

Figura 10. Sistema de control de sólidos para un fluido de perforación liviano.

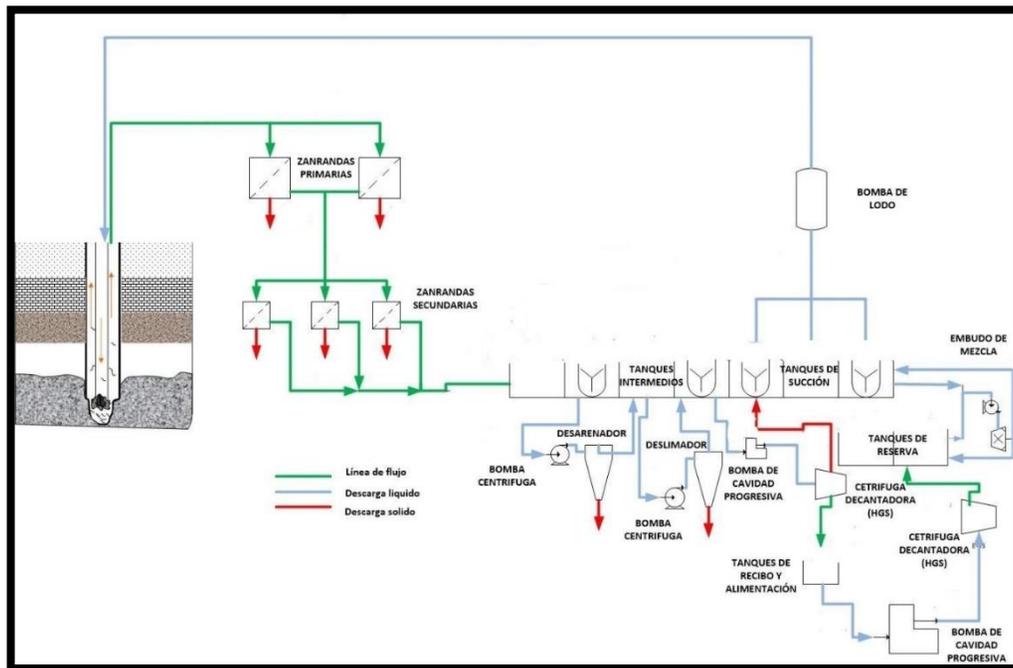


Fuente:LEGUÍZAMO, Rodrigo. Manual de entrenamiento básico para el sistema de control de sólidos. Bogotá. 2015. p.14. (Modificado por los autores)

Como se muestra en la **Figura 10**, el sistema está compuesto por 2 zarandas primarias, 3 zarandas secundarias, un desarenador, un desarcillador y una centrífuga decantadora para remover sólidos de baja gravedad específica.

2.5.2 Sistema de control de sólidos para un fluido de perforación pesado. La configuración del sistema se puede observar en la **Figura 11**.

Figura 11. Sistema de control de sólidos para un fluido de perforación pesado.

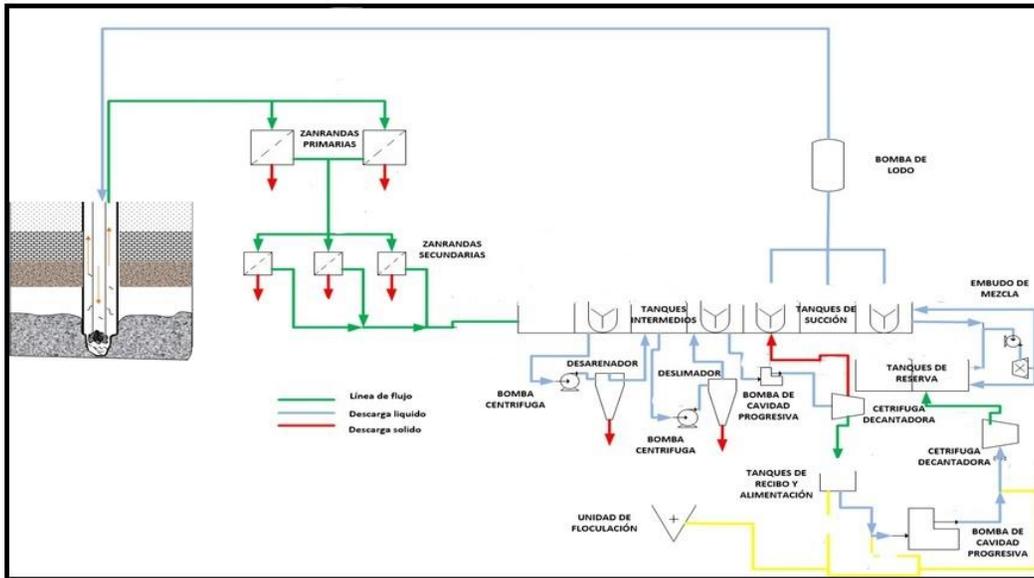


Fuente: LEGUÍZAMO, Rodrigo. Manual de entrenamiento básico para el sistema de control de sólidos. Bogotá. 2015. p.15. (Modificado por los autores)

Como se muestra en la **Figura 11**, el sistema está compuesto por 2 zarandas primarias, 3 zarandas secundarias, un desarenador, un desarcillador, una centrífuga recuperadora de barita y una centrífuga de alta velocidad.

2.5.3 Sistema de control de sólidos para un fluido de perforación químicamente modificado. La configuración del sistema se puede observar en la **Figura 12**.

Figura 12. Sistema de control de sólidos para un fluido de perforación químicamente modificado.



Fuente: LEGUÍZAMO, Rodrigo. Manual de entrenamiento básico para el sistema de control de sólidos. Bogotá. 2015. p.16. (Modificado por los autores)

Como se muestra en la **Figura 12**, el sistema está compuesto por, 3 zarandas primarias, 2 zarandas secundarias, un desarenador, un desarcillador, una centrífuga recuperadora de barita, una unidad de flocculación y una centrífuga de alta velocidad.

2.6 TRATAMIENTOS QUÍMICOS PARA EL MANEJO DE LOS CORTES DE PERFORACIÓN

Luego de pasar el fluido de perforación por el sistema de control de sólidos se obtiene una fase líquida; si el fluido posee sólidos de baja gravedad específica no deseados disueltos en él, es necesario utilizar agentes químicos que faciliten retirar estos sólidos.

Existen dos técnicas empleadas para el tratamiento químico, las cuales son:

2.6.1 Estabilización-solidificación. Este proceso inmoviliza y encapsula los componentes del desecho a manera de prevención para la contaminación del agua y tierra, mediante alteración química para la formar compuestos insolubles. Se deben considerar variables como: Temperatura, concentración del agente químico, Concentración de residuo toxico. pH, humedad.⁷⁴

2.6.2 Dewatering. Consiste en la eliminación de los sólidos en suspensión de los residuos de perforación esto se logra mediante una separación mecánica asistida, en el cual se utilizan polímeros biodegradables para coagular y flocular los sólidos finos. Se deben considerar variables como: Concentración del lodo y materia orgánica, resistencia el corte, filtrado de calidad, formación del floculo, punto de inyección, calidad del filtrado.⁷⁵

2.7 TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS PARA EL MANEJO DE LOS CORTES DE PERFORACIÓN

“El tratamiento biológico o biodegradación es la descomposición de las sustancias orgánica, como el petróleo, por acción de los organismos vivos como hongos, levaduras y bacterias, esta descomposición puede lograrse rápidamente, totalmente o también lentamente y parcialmente.⁷⁶ Los tratamientos biológicos más utilizados se explican en el **cuadro 7**.

Cuadro 7. Técnicas empleadas para el tratamiento biológico.

TÉCNICAS	PROCESO	VARIABLES A CONSIDERAR
COMPOSTAJE	Se basa en la construcción de un montón de tierra, formado por una mezcla homogénea	Temperatura Humedad pH

⁷⁴GUARDIÁN Maximiliano. VILLEGAS, Tania. Biodegradación de los desechos de refinamiento de petróleo a base de microorganismos eficientes. (Tesis de pregrado) Guácimo. Costa Rica. 2002. p. 11

⁷⁵ Ibid. p. 12.

⁷⁶Ibid.p.12.

Cuadro 7. (Continuación).

TÉCNICAS	PROCESO	VARIABLES A CONSIDERAR
COMPOSTAJE	Entre los residuos de perforación y cierta cantidad de materia orgánica y agentes microbianos. (Muertos) y en azúcares (hierba verde y restos de hortalizas) El nitrógeno será aportado por el estiércol o el purín.	Oxígeno Relación/N equilibrada. Población. Tipo de residuo a tratar.
LANDFARMING	Esta técnica es utilizada para descontaminación tanto “in situ” como “ex situ”, y consiste en provocar la oxidación biológica de los hidrocarburos contenidos en el suelo, por medio de la estimulación de la microflora natural (levaduras, hongos o bacterias).	Contenido de humedad Aireación. pH, ideal 6,5. Temperatura. Nutrientes NPK DBO-DQO.
LANDSPRING	Es una técnica de dispersión en el terreno, que trabaja en un sistema de biodegradación in situ, por medio de la aplicación de residuos petroleros en suelos con alto contenido de materia orgánica, así como la dosificación de enmiendas correctoras para ajustar algunos parámetros de acuerdo al cumplimiento de los límites establecidos en cada país	Temperatura. Humedad. pH Oxígeno. Población microbiana

Fuente: GUARDIÁN Maximiliano. VILLEGAS, Tania. Biodegradación de los desechos de refinamiento de petróleo a base de microorganismos eficientes. (Tesis de pregrado) Guácimo. Costa Rica. 2002. p. 13.

El **cuadro 7**, muestra, los tratamientos biológicos para la disposición de los cortes, donde se resalta la forma adecuada para su aplicación.

2.8 TRATAMIENTOS TÉRMICOS PARA EL MANEJO DE LOS CORTES DE PERFORACIÓN

Los tratamientos térmicos están diseñados para destruir los componentes orgánicos de los residuos, a través de la destrucción de la fracción orgánica y su conversión a dióxido de carbono y a vapor de agua, los tratamientos térmicos reducen el volumen de los residuos y ayudan a disminuir la amenaza al medio

ambiente, ya que los componentes orgánicos incluyen componentes peligrosos⁷⁷. Los tratamientos térmicos más utilizados se explican en el **cuadro 8**.

Cuadro 8. Tratamientos térmicos para el manejo de cortes de perforación.

TRATAMIENTO	CARACTERÍSTICA	VARIABLES
INCINERACIÓN TÉRMICA	El equipo de incineración térmica, consta de una primera cámara que opera a 800°C, en la cual se efectúa la gasificación y de la cual los gases producidos pasan a una segunda cámara (cámara de post-combustión) temperatura >1000°C, en esta se realiza una oxidación de los gases. ⁷⁸	<ul style="list-style-type: none"> • 6<pH>8 • Temperatura de combustión>850°C • Temperatura postcombustión < 1000°C
		<p style="text-align: center;">RESIDUO</p> <ul style="list-style-type: none"> • CO₂ • Agua • Cenizas
DESORCIÓN TÉRMICA	Es una técnica utilizada para tratar la tierra contaminada con desechos peligrosos calentándola a una temperatura de 90°C a 540°C a fin de que los contaminantes con	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura • Tipo de Contaminante • Concentración del contaminante. Tipo de Calentamiento.

Cuadro 8. (Continuación)

TRATAMIENTO	CARACTERÍSTICA	VARIABLES
DESORCIÓN TÉRMICA	Un punto de ebullición bajo se vaporicen (se conviertan en gases, y por consiguiente se separen de la tierra).	RESIDUO

⁷⁷ESPINOSA, Andrés. QUIROGA, Karen. Desarrollo de un proceso para el acondicionamiento de los cortes de perforación como fertilizante de un campo petrolero. (Trabajo de grado). Fundación Universidad de América. Bogotá. 2013. p.51

⁷⁸BALLESTEROS, Adriana. Evaluación de diferentes sistemas para el tratamiento de residuos de perforación en el Campo Tarapoa operado por la empresa Andes Petroleum S.A. (Tesis de grado). Escuela superior politécnica. Ecuador. 2007. p. 72-82.

		<ul style="list-style-type: none"> • Líquido orgánico para tratamiento ulterior o eliminación.
--	--	---

Fuente: BALLESTEROS, Adriana. Evaluación de diferentes sistemas para el tratamiento de residuos de perforación en el Campo Tarapoa operado por la empresa Andes Petroleum S.A. (Tesis de grado). Escuela superior politécnica. Ecuador. 2007. p. 72-82.

2.9 TRATAMIENTOS PARA DISPOSICIÓN FINAL DE LOS CORTES DE PERFORACIÓN

Una vez el corte es sometido a cualquiera de los tratamientos expuestos anteriormente, es llevado a un almacenamiento temporal generalmente en tanques o piscinas de volumen pequeño por un tiempo corto y finalmente se lleva a una disposición correcta de acuerdo a las normativas que rigen cada país

La correcta disposición de los cortes de perforación depende del almacenamiento (confinamiento en piscinas y confinamiento en celdas o terrazas).

2.9.1 Tipos de disposición final para los cortes de perforación. A continuación, se muestra la disposición final para los cortes de perforación, sus características más usadas para la correcta disposición. Observar el siguiente cuadro 9.

Cuadro 9. Tipos disposición final de cortes.

DISPOSICIÓN	CARACTERÍSTICA
	Este proceso se utiliza cuando se perforan los pozos con lodos base agua y que de acuerdo a las estadísticas de un gran número de análisis de laboratorio y muestreos de los residuos se llega a concluir que los resultados cumplen con las normas

<p>CONFINAMIENTO EN PISCINA</p>	<p>establecidas para la disposición final. Las variables a considerar en este proceso son el pH, humedad y condiciones ambientales (presión y temperatura). Las dimensiones de las piscinas oscilan entre 4 y 7 metros, la profundidad normalmente oscila entre 2 a 4 metros.</p> <p>Para el proceso se tiene en cuenta un porcentaje de silicatos o material secante se desaloja hacia la piscina hasta homogenizar todos los cortes y se les deja decantar, en donde por acción de la gravedad el más pesado va al fondo y el más liviano forma un lodo licuado superficial</p>
<p>CONFINAMIENTO EN CELDAS Y TERRAZAS</p>	<p>El corte procedente de las zarandas se mezcla con retroexcavadora con fijador natural NK-100 (insumo) en un tanque abierto, para luego enviarlo a un almacenamiento temporal más o menos ocho días, luego se dispone en celdas y terrazas con retroexcavadora, para que se sequen. Las variables a considerar a considerar en este proceso son el pH, humedad y condiciones ambientales (presión y temperatura).. Las dimensiones de las celdas oscilan de 4mx 4m x4m o 3m de profundidad, y el área se divide en 3 zonas con 36 celdas cada una por pozo.El proceso consiste en extraer los desechos sólidos de la celda de la zona 1 para ser ubicados en la zona 3 (última zona en utilizarse) en forma de terrazas y los nuevos cortes se depositarán secuencialmente en celdas re-abiertas (segunda fase).</p>

Fuente: BALLESTEROS, Adriana. Evaluación de diferentes sistemas para el tratamiento de residuos de perforación en el Campo Tarapoa operado por la empresa Andes Petroleum S.A. (Tesis de grado). Escuela superior politécnica. Ecuador. 2007. p. 54-71.

Una de las formas de disposición es adaptar los cortes después del tratamiento como un fertilizante, La Norma técnica Colombia 1927 define fertilizante como;“cualquier material orgánico o inorgánico, natural o sintético que suministra a las plantas uno o más de los elementos nutricionales para el crecimiento normal vegetal”⁷⁹, además debe tenerla capacidad de ceder estos nutrientes a las plantas, es decir, deben poder ser aprovechables.

2.10 MARCO LEGAL

Para el desarrollo del proyecto es necesario conocer el marco legal ambiental, para procedimientos de disposición de los cortes de perforación obtenidos luego

⁷⁹ ASOCIACIÓN INTERNACIONAL DE LA INSUSTRIA DE LOS FERTILIZANTES. Los fertilizantes y su uso. Roma. 2002. p. 1-4.

de la separación en sistema de control de sólidos, la **Cuadro 10** muestra las normas aplicadas al proyecto.

Cuadro 10.Marco legal ambiental pertinente para el proyecto.

Normatividad	Año	Observación
Guía técnica colombiana 24. Por la cual se brindan las pautas respectivas a la gestión ambiental de residuos sólidos.	2006	Esta guía presenta conceptos relacionados con la fuente de generación de los residuos sólidos en nuestro país, clasificando estos residuos de acuerdo a su origen.
Guía para la elaboración de planes de manejo de residuos peligrosos (RESPEL).	2005	Esta guía permite establecer si los residuos sólidos generados son peligrosos, y permite determinar así los generadores de este residuo, deberán elaborar un plan de manejo ambiental para residuos peligrosos.
Decreto 838, sobre disposición final de residuos sólidos.	2005	Establece como promover y facilitar la planificación, construcción y operación de sistemas de disposición final de residuos de perforación-

Cuadro 10. (Continuación)

Normatividad	Año	Observación
Decreto 4741 de Colombia, por el cual se reglamenta la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco legal de la gestión integral.	2005	Establece y define que se debe garantizar la gestión y manejo de estos residuos, elaborando un plan de gestión integral, que incluya el almacenamiento, identificación, características de peligrosidad y medidas de control y prevención.
Decreto 1713 de Colombia, por el cual se reglamentan las normas que competen en relación con la gestión integral de residuos sólidos.	2002	Establece el contenido básico del plan de gestión integral de Residuos Sólidos, así mismo como el transporte, almacenamiento y términos de recuperación, aprovechamiento o disposición final.
Guía de manejo ambiental para proyectos de perforación de pozos de petróleo y gas (Ministerio del medio ambiente)	1999	Proporciona a las empresas interesadas en el sector y a las autoridades ambientales, una herramienta de consulta que contiene los criterios, lineamientos y orientaciones de carácter general para la concepción, planificación, construcción, operación y mantenimiento de una perforación haciendo énfasis en el manejo ambiental de esta actividad.
Resolución 2309, por el cual se reglamente las normas en relación con la disposición, manejo y transporte de los residuos especiales	1986	Establece y califica por grupos, los residuos especiales, adicionalmente establece los criterios para identificar un residuo toxico, en concentración de mg/l de varios contaminantes.

Cuadro 10. (Continuación)

Normatividad	Año	Observación
Decreto 2011, por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de protección al medio ambiente.	1974	Establece y define en el capítulo 1, de la parte VII, los términos para el uso. Aprovechamiento de la tierra y de los suelos adecuadamente, manifestando que el aprovechamiento de los suelos deberá efectuarse en forma de mantener su integridad física y su capacidad productora.

3. CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN Y CORTES INDUSTRIALES DE PERFORACIÓN

En este capítulo se tomarán como referencia las características físico-químicas de los fluidos de perforación utilizados y los cortes obtenidos en la perforación de pozo A, reportados en el trabajo de grado realizado por Espinoza y Quiroga, titulado, Desarrollo de un proceso para el acondicionamiento de los cortes de perforación como fertilizante de un campo petrolero, y en el reporte de perforación del pozo A, teniendo en cuenta cada una de sus secciones perforadas. A partir de estos datos se determinará el volumen total de corte y su tamaño de acuerdo a la sección perforada.

3.1 ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN

En el proceso de perforación del pozo A, se utilizan tres fluidos diferentes. Uno para cada una de las tres secciones perforadas, la fase 1 utiliza fluido spud mud de caudal 800 gpm, considerado un lodo de perforación liviano, la fase 2 fluidos Boremax con un caudal entre 600-800 gpm el cual es considerado un fluido de perforación pesado y la fase 3 utiliza un fluido Barandill-N con un caudal 400 gpm considerado liviano, cada uno con características y componentes específicas⁸⁰.

3.1.1 Fluido de perforación spud mud. El fluido de perforación spud mud está compuesto por agua y bentonita, es considerado un lodo de inicio en la perforación, en algunas ocasiones se le agregan aditivos para mejorar sus propiedades, para su aplicación en el campo de estudio se utilizó una mezcla de agua y bentonita en una concentración de 18 a 20 Lb/ BI.

De acuerdo al Manual de fluidos de perforación, “El termino bentonita se usa para describir la montmorillonita sódica explotada comercialmente, que se usa como aditivo para el lodo de perforación. La montmorillonita es una arcilla, es decir un elemento de valioso estudio para el entendimiento de la química de los fluidos de perforación, ya que puede ser añadido intencionalmente como en el caso del spud mud o entrar al lodo como contaminante importante mediante la dispersión de los lodos de perforación”⁸¹.

La arcilla de perforación es un término amplio que se usa comúnmente para describir sedimentos, suelos o rocas, compuestos de partículas minerales y

⁸⁰ ESPINOSA, Andrés y QUIROGA, Karen. Desarrollo de un proceso para el acondicionamiento de los cortes de perforación como fertilizante de un campo petrolero. (Trabajo de grado de pre-grado). Fundación Universidad de América. Bogotá. 2013.

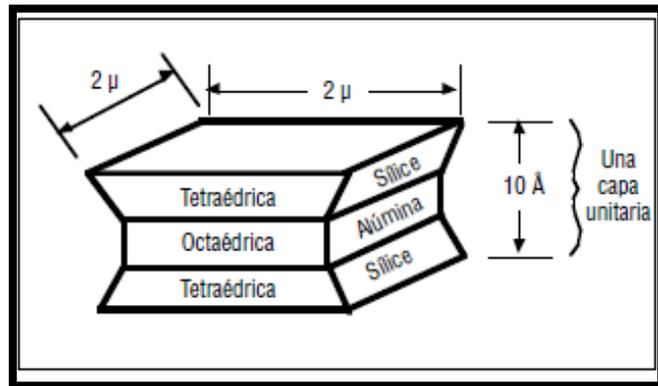
⁸¹ Manual de fluidos de perforación. Procedimiento estándar para las pruebas de fluido de perforación. Instituto americano de petróleo. Química de las arcillas. Dallas-Texas. 2001. p. 4B.1.

materia orgánica de grano extremadamente fino. Dependiendo de su composición, se le da la característica de blanda cuando esta mojada y dura cuando está seca, además se le puede atribuir el término a partículas con diámetro menor a 2 micrones⁸². Las arcillas cumplen dos funciones:

- Proporcionar viscosidad al fluido de perforación.
- Depositar un revoque que sellará las formaciones permeables para limitar las pérdidas por filtración y evitar el atascamiento de la tubería.

La arcilla que existe naturalmente tiene una estructura apilada o estratificada, en la cual, cada capa unitaria tiene un espesor de aproximadamente 10 angstroms (Å). Esto significa que cada milímetro de espesor consta de aproximadamente un millón de capas de arcilla. Cada capa de arcillas es altamente flexible, muy fina, y tiene un área superficial enorme. Como se observa en la **Figura 13**.

Figura 13. Partícula de montmorillonita (bentonita).



Fuente: Manual de fluidos de perforación, procedimiento estándar para las pruebas de fluido de perforación. Instituto americano de petróleo. Dallas-Texas. Química de las arcillas. 2001. P. 4B.1

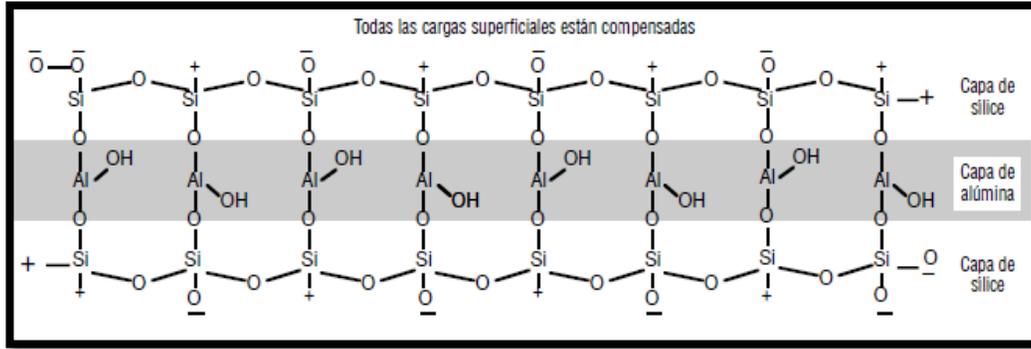
La **Figura 13**, muestra la estructura apilada de la bentonita, cada capa unitaria consta de una combinación de hojas de sílice dispuestas tetraédricamente (en pirámide) y hojas de alúmina o magnesia dispuestas octaédricamente (ocho caras).

El cristal de bentonita se compone de tres capas: una capa de alúmina con una capa de sílice encima y otra debajo. La laminilla de arcilla está cargada negativamente y una nube de cationes está relacionada con ésta. Si la mayoría de estos cationes son sodio, la arcilla será frecuentemente llamada bentonita sódica.

⁸²Manual de fluidos de perforación. Procedimiento estándar para las pruebas de fluido de perforación. Instituto americano de petróleo. Química de las arcillas. Dallas-Texas. 2001. p. 4B.2.

Si los cationes son principalmente calcio, la arcilla será llamada bentonita cálcica⁸³. La **Figura 14** se muestra la distribución de las capas de la arcilla.

Figura 14. Arcilla de carga neutra.



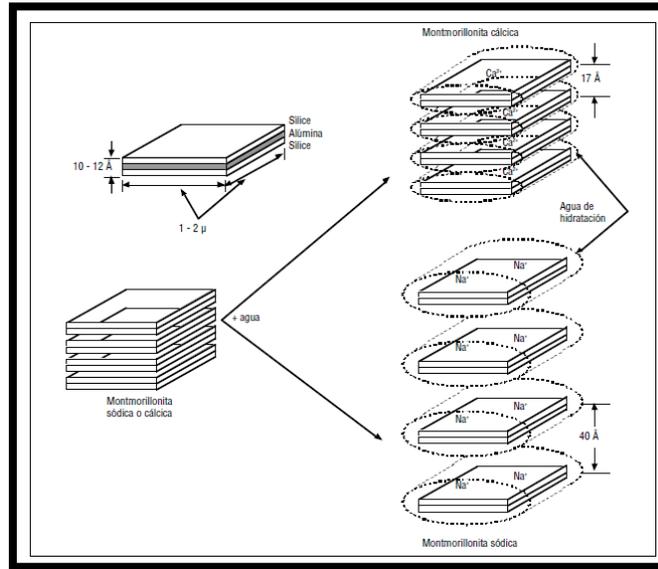
Fuente. Manual de fluidos de perforación, procedimiento estándar para las pruebas de fluido de perforación. Instituto americano de petróleo. Dallas-Texas. Química de las arcillas. 2001.p. 4B.1

Como se observa en la **Figura 14**, la alúmina está encerrada entre dos capas de silicio las cuales forman una nube catiónica de acuerdo a su enlace con el sodio o el calcio.

- **Comportamiento de la bentonita con el agua:** Cuando la arcilla seca entra en contacto con el agua, el espacio entre capas (9,8 Å si es sodio y 12 Å si es calcio) se expande y la arcilla adsorbe una gran envoltura de agua generando la viscosidad necesaria para el lodo (14 cP). El espesor de la película de agua adsorbida es controlado por el tipo y cantidad de cationes asociados con la arcilla, como se muestra en la siguiente **Figura 15**.

⁸³Manual de fluidos de perforación. Procedimiento estándar para las pruebas de fluido de perforación. Instituto americano de petróleo. Química de las arcillas. Dallas-Texas. 2001. p. 4B.4.

Figura 15. Comparación de hidratación para la montmorillonita cálcica y sódica.



Fuente. Manual de fluidos de perforación, procedimiento estándar para las pruebas de fluido de perforación. Instituto americano de petróleo. Dallas-Texas. Química de las arcillas. 2001.

Cabe resaltar que La hidratación y la dispersión de la arcilla seca son muy afectadas si el agua de preparación contiene sal o varios iones metálicos. Por ejemplo, muchos lodos de perforación son preparados con agua salada por razones de economía y conveniencia. El agua salada no permite llegar a viscosidad deseada. La bentonita puede ser usada como viscosificador eficaz en agua salada solo si es prehidratada en agua dulce antes de ser añadida al agua salada⁸⁴.

Hay que tener en cuenta que el agua es un electrolito débil de enlaces covalentes y que su molécula está compuesta a partir de puentes de hidrógeno lo que permite que se enlace perfectamente a la capa superficial de la arcilla, generando así la adsorción, luego de ser adsorbida esta mezcla de arcilla y agua se convierte en una dispersión, es decir, un sistema de dos fases en el cual una fase consta de partículas sólidas finamente molidas que están distribuidas en la segunda fase. Cabe resaltar que luego de que el fluido es contaminado, su dispersión se pierde y

⁸⁴Manual de fluidos de perforación. Procedimiento estándar para las pruebas de fluido de perforación. Instituto americano de petróleo. Química de las arcillas. Dallas-Texas. 2001. p. 4B.12.

pasa a ser un fluido floculado, propiedad que permite una separación de fases más fácil en el sistema de control de sólidos.⁸⁵

Parte del análisis químico incluye el estudio de las propiedades de preparación del fluido teniendo en cuenta las normas API, el fluido spud mud utilizado en la perforación de pozo A, tiene las siguientes propiedades, como se observa en la **Tabla 6**.

Tabla 6.Propiedades del fluido de perforación spud mud.

Variables	Valor
Concentración	18-20 lb/Bl
Viscosidad	15 Cp
Densidad	8.6 Lb/gal (ppg)
Rendimiento	100 bl/ton (0,35 barriles por cada saco de 100 lb)
% en peso	6%
Ph	8
Gravedad específica	2,35

Fuente. Manual de fluidos de perforación. Centro internacional de educación y desarrollo (CIED) (PVSSA). Venezuela. Agosto 2002.p.90-95. (Modificada por los autores)

Se entiende que cada una de las propiedades cambian de acuerdo a la concentración y al agua de preparación, las propiedades explicadas en la **Tabla 6**, son de acuerdo a una preparación con agua dulce, si se llevara a cabo en agua salada sería una arcilla diferente, y el agua salada no es recomendable para esta preparación.

Cada una de estas propiedades se tendrá en cuenta como variables en el proceso de parametrización de los equipos, para una buena selección del sistema de control de sólidos ya que los equipos que lo componen tienen dentro de los criterios de selección propiedades como la viscosidad y la densidad.

⁸⁵Manual de fluidos de perforación. Procedimiento estándar para las pruebas de fluido de perforación. Instituto americano de petróleo. Química de las arcillas. Dallas-Texas. 2001. p. 4B.13.

3.1.2 Fluido de perforación BOREMAX®. Boremax es un fluido de perforación base agua polimérico, que se caracteriza por ser no disperso, tener bajo contenido de sólidos y alta capacidad de inhibición, este fluido se emplea cuando está perforando la fase dos, los aditivos presentes en el fluido de perforación empleado contemplan una gran variedad de polímeros de alto y bajo peso molecular, que cumple funciones viscosificantes, floculantes y controladores de filtrado. También contiene otros agentes viscosificantes como la bentonita, un agente densificante como la barita o hematita y la fuente de alcalinidad como la potasa caustica⁸⁶. Como se puede observar en la **Tabla 7**, se encuentran los aditivos presentes en el fluido de perforación BOREMAX, su nombre comercial y su función que cumplen dentro del fluido.

Tabla 7. Aditivos del sistema BOREMAX®.

Aditivo (nombre comercial)	Nombre genérico-descripción	Función
BORE-VIS™	Polímero	Viscosificante
BARAZAN®D	Biopolímero xántico de dispersión mejorada.	Viscosificante/Agente de suspensión.
CLAY GRABBER®	Polímero de alto peso molecular. Especial formulación de poliacrilamidas para inhibición y floculación de sólidos.	Floculante
POLIAC® PLUS	Polímero acrílico modificado	Controlador de filtrado
BORE-PLUS™	Exclusiva mezcla de polímeros (acrilatos)	Agente de suspensión
CLAY SEAL US®	Material anfótero de bajo peso molecular.	Estabilizador de lutitas.

⁸⁶CASTILLO, Carmen. Evaluación de abrasividad y comportamiento reológico densificados con hematita de fluidos base agua para perforación de pozos en el are de norte de Monagas. (Tesis de pre-grado). Universidad del oriente. Venezuela. 2009. p. 43-44.

Tabla 7. (Continuación).

Aditivo (nombre comercial)	Nombre genérico-descripción	Función
POTASA CÁUSICA	Fuente de alcalinidad	Alcalinidad.
ACETATO DE POTASIO	Sal orgánica	Inhibidor de arcilla
BAROID®	Barita	Agente densificante

De acuerdo con el estudio realizado por Maldonado Bautista sobre fluidos de perforación de alto rendimiento se afirma que “el concepto deBOREMAX surgió desde los años 40, la tecnología fue probada hasta hace poco en el campo, mejorando el diseño de la broca, equipos de control de sólidos, zarandas, modelo hidráulico y especialmente una alta tecnología en polímeros permitiendo que el Sistema sea rediseñado para mejorar el rendimiento y en lo posible aplicarlo con un mejor control”⁸⁷.

Tabla 8.Concentraciones de productos químicos necesarios para mezclar 1 bl de BOREMAX.

Aditivo (nombre comercial)	Concentración
BORE-VIS™	9 LI/bl
BARAZAN®D	9 LI/bl
CLAY GRABBER®	1 Lb / bl
POLIAC® PLUS	0,5-2,0 ppb
BORE-PLUS™	1 Lb / bl
CLAY SEAL US®	4 Lb/ bl
POTASA CÁUSICA	0,1-0,25 ppb
ACETATO DE POTASIO	4 Lb / bl
BAROID®	315 lb/bl

El aditivo conocido como BAROID, corresponde a la barita, como se puede inferir de la **Tabla 8**, la concentración de la barita es 315 lb/ Bl, una concentración bastante elevada respecto a los otros aditivos que le dan las propiedades específicas al sistema BOREMAX, como se indica en la **Tabla 9**.

Tabla 9.Propiedades del fluido de perforación BOREMAX.

⁸⁷MALDONADO, Ángela. Formulación y evaluación de fluidos de perforación de base agua de altos rendimientos aplicados al Campo Balcón como sustitutos de lodo base aceite. Tesis de pregrado. Escuela de ingeniería de petróleos. Bucaramanga. 2006. p. 24.

Variables	Valor
Densidad	14 ppg
Límite de elasticidad	8-12 Lb/100 ft ²
Filtrado API	<10 ml
LGS (%)	<6
pH	8-9

Para la determinación de a concentración de barita para este fluido se determinó con la **Ecuación 1**⁸⁸.

Ecuación 1. Cantidad de barita para un lodo

$$Ba = \frac{1470 * (D_2 - D_1)}{35 - D_2}$$

Donde:

Ba= Concentración de Barita (lb/bl)

D₂= Densidad a la cual se quiere llegar (ppg)

D₁= densidad inicial (8.33 ppg, densidad del agua)

$$Ba = \frac{1470 * (14 - 8.33)}{35 - 14}$$

$$Ba = 315.72lb/bl$$

De acuerdo a la clasificación de los fluidos de perforación, el sistema BOREMAX es considerado un fluido de perforación pesado, por su densidad y su presencia de barita en su preparación. Cabe resaltar que sus propiedades pueden variar de acuerdo a la concentración de los aditivos, las mencionadas a la **Tabla 9** son las propiedades adecuadas para que el sistema proporcione el rendimiento deseado. BOREMAX es una alternativa fiable para sistemas de fluidos de emulsión inversa, además tolera altas temperaturas, sus propiedades se mantienen a altas condiciones de trabajo. Las contaminaciones pueden controlarse fácilmente y es amigable con el medio ambiente.

⁸⁸ LAPERYROUSE, Norton. Formulas y cálculos para la perforación, producción y rehabilitación. 2002. p. 67.

3.1.3 Fluido de perforación BARADRILL- N®. De acuerdo a Halliburton “El sistema BARADRIL-N de Baroid es un fluido de perforación de reservorio (fase 3) soluble en ácido, diseñado para ayudar a lograr la máxima producción potencial, proporciona un control eficaz de la pérdida de fluido y una estabilidad confiable de la formación y del pozo. El sistema BARADRIL-N también se puede utilizar para operaciones de finalización y recuperación”⁸⁹.

Los fluidos BARADRIL-N se formulan con agua dulce o salmuera, polímeros térmicamente estables para el control de suspensión y filtración, y partículas de puente de carbonato de calcio clasificada, además no requieren equipo de mezcla especial y el sistema se prepara y mantiene fácilmente en el campo.

Muchos de estos fluidos son usados para perforar la zona productora o zona de interés debido al mínimo daño de formación generado. Es necesario mantener un pH entre 10.5 y 11,5 para mantener la suficiente alcalinidad asegurando la eficiencia de los polímeros y minimizando su degradación. Para completar el estudio respecto al fluido de perforación de la fase 3 en la **Tabla 10**, se encuentran los aditivos presentes en el BARADRILL-N, su nombre comercial y su función que cumplen dentro del fluido.

Tabla 10. Aditivos para el sistema BARADRIL- N.

Aditivo (nombre comercial)	Descripción	Función
BARADEFOAM®	Aceite parafínico	Antiespumante
N- VIS	Polímero de goma xantana	Viscosificante
N-DRIL® HT PLUS	Almidón	Controlador de filtrado
BARABUF®	MgO	Estabilizador de pH
BARACARB®	Mármol molido	Agente de puenteo
KCl	KCl	Alcalinidad.
ALDACIDE G	Glutaraldehido	microbicida
CARBONATO DE CALCIO	CaCO ₃	Agente densificante

⁸⁹HALLIBURTON. BARADRIL-N® Reservoir Drilling Fluid System. 2016. En: Halliburton [En línea]<<http://www.halliburton.com/en-US/ps/baroid/fluid-services/reservoir-fluids-solutions/drill-in-fluid-systems/baradril-n-reservoir-drilling-fluid-system.page#>>.

De acuerdo a la información proporcionada por la **Tabla 10**, el sistema BARANDRIL-N es considerado un fluido de perforación liviano ya que su densidad es menor a 10 ppg, además no posee barita en su preparación. Para ello se determinó la concentración de carbonato se determinó mediante la **Ecuación 2**⁹⁰.

Ecuación 2. Cantidad de Carbonato de Calcio para un lodo.

$$Ca = \frac{945 * (D_2 - D_1)}{22.5 - D_2}$$

Donde:

Ca= Concentración de carbonato de calcio (lb/bl)

D₂= Densidad a la cual se quiere llegar (ppg)

D₁= densidad inicial (8.33 ppg, densidad del agua)

$$Ca = \frac{945 * (8.8 - 8.3)}{22.5 - 8.8}$$

$$Ca = 32lb/bl$$

Las concentraciones de los compuestos del fluido Baradrill-N se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 11.Concentraciones de productos químicos necesarios para mezclar 1 bl de BARANDRIL- N.

Aditivo (nombre comercial)	Concentracion(lb/ bl)
BARADEFAM [®]	0,1618
N- VIS	1, 25
N-DRIL [®] HT PLUS	6
BARABUF [®]	1
BARACARB [®]	30
KCl	10,5
ALDACIDE G	0,75
CARBONATO DE CALCIO	32

Las propiedades que se obtiene bajo estas concentraciones se resumen en la **Tabla 12**.

⁹⁰ LAPERYROUSE, Norton. Formulas y cálculos para la perforación, producción y rehabilitación. 2002. p. 67.

Tabla 12.Propiedades del fluido de perforación BARANDRIL-N.

Variables	Valor
Densidad	8,8 ppg
Ph	10,5
Viscosidad	12 cP

3.2 ANÁLISIS FÍSICO DE LOS CORTES DE PERFORACIÓN RESULTANTES EN EL CAMPO DE ESTUDIO

Según la guía de manejo ambiental para proyectos de perforación, de pozo de petróleo y gas del Ministerio de Medio Ambiente del año 1999 “los cortes de perforación son un residuo sólido, peligroso típico de la actividad de perforación que tiene como características ser una roca extraída del subsuelo durante la perforación, contaminada con el lodo de perforación”⁹¹. La contaminación por parte del lodo ya fue analizada, es necesario tener en cuenta las características de la roca obtenida del subsuelo, esto depende de la formación (componentes del suelo) y las secciones de perforación, como se muestra en la **Tabla 13**.

⁹¹Ministerio del medio ambiente. guía de manejo ambiental para proyectos de perforación de pozo de petróleo y gas Colombia. (1999).

Tabla 13. Descripción de la composición por fase perforada teniendo en cuenta la formación.

UNIDAD	COMPOSICIÓN	CONSOLIDACIÓN	ESPESOR (ft)	TAMAÑO DE GRANO	TAMAÑO DE CORTE (mm)	FASES DE PEROFRACIÓN
Guayabo	Arenisca	Poco consolidado	1190	0.25-1	0.25-1	Fase 1
	Arcillolita	Poco consolidado		<0.0039	<0.0039	
	Limolita	Consolidado		0.25-1	>1	
Shale leon	Lutita	poco consolidada	785	< 0.0039	< 0.0039	Fase 2
	Arcillolita	poco consolidada		< 0.0039	< 0.0039	
Arenisca Superior	Arena	Friable	900	0.125 - 0.5	0.125 - 0.5	
	Arcillolita	poco consolidada		< 0.0039	< 0.0039	
Lutita E	Lutita	poco consolidada	300	< 0.0039	< 0.0039	
	Arcillolita	poco consolidada		< 0.0039	< 0.0039	
C1	Arena	Friable	830	0.125 - 0.25	0.125 - 0.25	
	Arcillolita	poco consolidada		< 0.0039	< 0.0039	
	Limolita	poco consolidada		0.0039 - 0.0078	0.0039 - 0.0078	

Tabla 13. (Continuación).

UNIDAD	COMPOSICIÓN	CONSOLIDACIÓN	ESPESOR (ft)	TAMAÑO DE GRANO	TAMAÑO DE CORTE (mm)	FASES DE PEROFRACIÓN
Arenisca de Carbonera	Arcillolita	poco consolidada	200	< 0.0039	< 0.0039	Fase 2
	Arenisca			0.125 - 0.5	0.125 - 0.5	
	Limolita	poco consolidada		0.0039 - 0.0078	0.0039 - 0.0078	
C2	Arcillolita	poco consolidada	1900	< 0.0039	< 0.0039	
	Arenisca	Friable		0.25 - 0.5	0.25 - 0.5	
	Limolita	consolidado		0.0039 - 0.0078	10.-5	
E3	Lutitas	poco consolidada	600	< 0.0039	< 0.0039	
	Arcillolita	poco consolidada		< 0.0039	< 0.0039	
T1	Arenisca	Friable	340	0.0625 -0.125	0.0625 -0.125	Fase 3
	Arcillolita	poco consolidada		< 0.0039	< 0.0039	
	Lutita	poco consolidada		< 0.0039	< 0.0039	
E4	Lutita	Friable	960	<0.0039	<0.0039	
	Limolita	Friable		0.0156-0.039	0.0156-0.039	
	Arcillolita	Friable		< 0.0039	< 0.0039	

Tabla 23. (Continuación).

UNIDAD	COMPOSICIÓN	CONSOLIDACIÓN	ESPESOR (ft)	TAMAÑO DE GRANO	TAMAÑO DE CORTE (mm)	FASES DE PEROFRACCIÓN
T2	Arena	Friable	270	0.25-1	0.25-1	Fase 3
	Arenisca	Friable		0.0625 -0.125	0.0625 -0.125	
K1	Arenisca	consolidado	715	0.125 - 0.5	2.5 - 1	
	Lutita	consolidado		< 0.0039	10.-5	
	Limolita	consolidado		0.125-0.25	5 - 2.5	
	Arena			0.125 - 0.5	0.125 - 0.5	
K2	Arenisca	consolidado	490	0.25-1	>1	
	Lutita	poco consolidada		<0.0039	<0.0039	

Fuente: ANH.Cuenca Llanos Orientales. Bogotá, 2012. P34-38 (Modificado por los autores)

Como se puede observar en la **Tabla 13**, la mayoría de las unidades perforadas en las secciones 1 y 2, son poco consolidadas es decir su tamaño de corte pequeño, muy cercano al tamaño de partícula de cada uno de los elementos que los componen. La sección 3 a diferencia de las dos primeras es consolidada, es decir una aglomeración de partículas de los componentes de cada unidad. El tamaño del grano de cada uno de los componentes tiene un rango que se debe tener en cuenta para determinar el tamaño de corte obtenido, el tamaño de grano que se obtiene se muestra en la siguiente **Tabla 14**.

Tabla 14.Tamaño del corte que puede perforar la broca, tomando en cuenta formaciones consolidadas.

Tamaño de grano	tamaño del corte (mm)
medio - grueso	> 1
fino - medio	2.5 – 1
muy fino - fino	5 – 2.5
muy fino	10 – 5

En la **Tabla 14** se muestra la clasificación de los cortes de perforación del pozo A según el tamaño de grano y se puede evidenciar que entre más consolidada es la formación y un mayor tamaño de grano, genera tamaños de corte más pequeños. En el**Cuadro 11** se muéstrala clasificación de los sedimentos.

Cuadro 11.Clasificación de los sedimentos.

CLASIFICACIÓN DE LOS SEDIMENTOS		
Límite de clase (mm)	Tamaño	Termino de roca
>256	Peñasco	Conglomerado Brecha Rudita Roca rudaceas
16 a 256	Matatenas	
4 a 16	Guijarros	
2 a 4	Gránulos	
1 a 2	Arena muy gruesas	Arenisca Arenita Rocas Arenaceas
0.5 a 1	Arena gruesa	
0.25 a 0.5	Arena mediana	
0.125 a 0.25	Arena fina	

Cuadro 11. (Continuación).

Límite de clase (mm)	Tamaño	Termino de roca
0.0625 a 0.125	Arena muy fina	Arenisca Arenita Rocas Arenaceas
0.0312 a 0.0625	Limo grueso	Limolitas
0.0156 a 0.0312	Limo medio	
0.0078 a 0.0156	Limo fino	
0.0039 a 0.0078	Limo muy fino	
<0.0039	Arcilla	Lutita

FUENTE: WENTWORTH, Chester. A scale of grade and class terms for clastic sediment.vol.30.1922.

En el **cuadro 11**, se observa la clasificación de los granos según su tamaño, y de acuerdo a la litología de estudio se puede ver, que los granos de interés poseen diámetro dentro de un rango de 0, 0039 a 0,25 mm.

3.3 VOLUMEN ESTIMADO DE CORTES DE ACUERDO A LA SECCIÓN PERFORADA

Para la determinación del volumen total, se tuvo en cuenta el volumen de fluido de perforación que entro al pozo A en el proceso, el volumen de corte que se obtuvo luego de este, teniendo en cuenta las diferentes fases de perforación. Para ello se tuvo en cuenta el tamaño de la broca y su respectiva conversión para obtener el galonaje. El método de cálculo se presenta en la **Ecuación 3**⁹².

Ecuación 3. Volumen de corte obtenido en el pozo perforado.

$$V_c = \frac{D_{broca}}{1029.4} * h * 42$$

Donde:

V_c= volumen de corte (galoles).

D_{broca}= Diámetro de la broca (in).

h=longitud de los pies perforados (ft).

⁹² LAPERYROUSE, Norton. Formulas y cálculos para la perforación, producción y rehabilitación. 2002. p. 25.

Fase 1

$$\text{Volumen total de cortes} = \frac{17.5^2 * 1024 \text{ ft}}{1029.4} * 42 = 12795 \text{ gal}$$

El volumen total de corte fue obtenido durante las 17 horas que duró el proceso de perforación en esta fase, de acuerdo al reporte de perforación del pozo A.

Fase 2

$$\text{Volumen total de cortes} = \frac{12.25^2 * (6663 - 1024)}{1029.4} * 42 = 34525 \text{ gal}$$

El volumen total de corte fue obtenido durante las 66 horas que duró el proceso de perforación en esta fase, de acuerdo al reporte de perforación del pozo A.

Fase 3

$$\text{Volumen total de cortes} = \frac{8.5^2 * (9393 - 6663)}{1029.4} * 42 = 8048 \text{ gal}$$

El volumen total de corte fue obtenido durante las 166,5 horas que duró el proceso de perforación en esta fase, de acuerdo al reporte de perforación del pozo A.

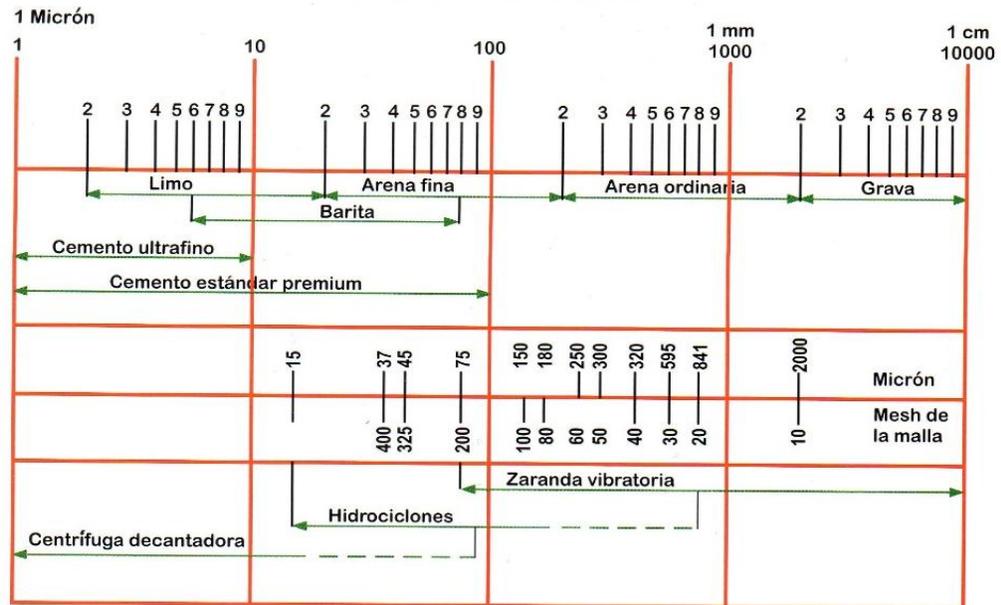
4. SELECCIÓN DE PARÁMETROS DE UN SISTEMA DE CONTROL DE SÓLIDOS

En el siguiente capítulo se lleva cabo la selección de parámetros y variables de cada uno de los equipos del control de sólidos, teniendo en cuenta los parámetros mencionados en el marco teórico y las propiedades de los fluidos de perforación utilizados en el pozo A.

4.1 CÁLCULO DE PARÁMETROS VARIABLES

Para realizar una selección de parámetros y variables de los equipos es importante revisar el tamaño de cortes que pueden llegar a remover cada uno de los equipos, por lo tanto, cada equipo que conforma un sistema de control de sólidos tiene un rango de tamaño de sólidos que puede retirar. En la **Figura 16**, se observa comportamiento de esta característica, considerada la más importante.

Figura 16. Remoción de tamaño de sólidos para cada equipo del control de sólidos.



Fuente: Solids control school, 2015, Manual de entrenamiento básico para el sistema de control de sólidos.

Como se observa en la **Figura 16**, las zarandas son los equipos primarios de cualquier sistema debido a que remueven las partículas más grandes que están entre 1000 y 100 micras, en segundo lugar, se encuentran los hidrociclones que

remueven las partículas de tamaño intermedio, y por último las centrífugas son el equipo encargado de remover los sólidos de tamaño ultra fino.

De cada uno de los equipos que componen el sistema de control de sólidos, se tendrán en cuenta parámetros de funcionamiento típico de los mismos, parámetros que optimizan la separación del líquido y sólido.

Para la selección de estos parámetros se tienen en cuenta cuatro importantes criterios:

- La empresa MISWACO, empresa líder en control de sólidos, en base a su curso de control de sólidos y catálogos técnicos de operación, son una referencia clave a la hora de seleccionar los equipos más convenientes en un proceso.
- Teoría recolectada en el trabajo.
- Programa de perforación del pozo, muestra como es el comportamiento de un sistema convencional.
- Ingeniero de control de sólidos, de acuerdo a su experiencia, recomienda los equipos más convenientes para lograr la mayor recuperación de fluido durante el proceso.

4.1.1 Zaranda.

4.1.1.1 Parámetros de operación. De acuerdo al documento de MISWACO del año 2002, titulado, Curso de adiestramiento para el control de sólidos, las zarandas operan de acuerdo con los siguientes parámetros como se observa a continuación:

- **Tipo de zaranda:** se estudiaron 2 tipos de zaranda, teniendo en cuenta tiempos de operación y recuperación del fluido en el sistema como se muestra en el **cuadro 12**.

Cuadro 12. Comparación entre zarandas.

Zaranda convencional	Zaranda de doble piso
Se producen pérdidas en momento en que el fluido pasa de una zaranda a otra.	De acuerdo a su diseño, disminuye pérdidas de fluido durante la operación.
Hay un número mayor de zarandas por lo que no hay ahorro de espacio.	Disminuye el número de zarandas en la locación, por lo que hay un ahorro de espacio.
A más equipos se encuentren en el sistema, mayor será el gasto de energía.	Disminuye el gasto de energía.

Cuadro 12. (Continuación).

Zaranda convencional	Zaranda de doble piso
Los tiempos de operación son prolongados durante la separación primaria.	De acuerdo a su diseño se disminuyen tiempos de operación.

De acuerdo el **cuadro 12** se selecciona una zaranda de doble piso, valorando la opinión del ingeniero con siete años de experiencia en control de sólidos y aspectos como el espacio, mantenimiento y debilidades en el sistema utilizado en el pozo A.

- **Tipo de malla:** para que una zaranda tenga un funcionamiento adecuado se debe seleccionar una malla con las características indicadas, de acuerdo al diseño del equipo se presentan 3 criterios de selección a tener en cuenta, los cuales se muestran en el **Cuadro 13**.

Cuadro 13. Criterios de selección para el tipo de malla.

Criterio	Característica	Tipo
Según catálogo de MISWACO	Según la empresa de fabricación, recomienda un tipo de malla para la zaranda elaborada.	Mallas planas- pretensionadas
Según el historial de perforación	Se tendrán en cuenta las mallas utilizadas en sistema de control de sólidos utilizado en la perforación del pozo A.	Mallas planas- pretensionadas
Según experticia del ingeniero, con 7 años de experiencia en control de sólidos	Se hizo la recomendación de acuerdo a la obtención de cortes más secos.	Mallas piramidales- pretensionadas

El tipo de malla seleccionado, según los criterios presentados en el **cuadro 13**, es una malla piramidal-pretensionada porque este tipo de mallas logra mayor área de contacto con el fluido y así reducir pérdidas de fluido adherido a los cortes.

- **Mesh de la malla:** para la selección del mesh de la malla se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos, mencionados en el **cuadro 14**.

Cuadro 14. Aspectos para la selección del mesh de la malla.

Aspecto	Característica
Tamaño de corte	Como se muestra en el capítulo 3, se presenta los diferentes tamaños de corte que salen del pozo A.
Experticia del ingeniero	De acuerdo a las condiciones de operación y a los tamaños de corte se propusieron los mesh de las mallas para cada sección.

De acuerdo a los aspectos mencionados en el **cuadro 14**, se seleccionan los mesh de la malla para cada sección, los cuales se muestran en el **cuadro 15**.

Cuadro 15. Mesh de la malla para cada sección.

Sección	Mesh/api	
Sección 1	Malla Superior 12 (API 12)	Malla inferior 85 (API 80)
Sección 2	Malla Superior 12 (API 12)	Malla inferior 120 (API 120)
Sección 3	Malla Superior 12 (API 12)	Malla inferior 175 (API 170)

- **Caudal de alimentación:** para la determinación del caudal de entrada de la zaranda se tendrá en cuenta la siguiente recuperación de datos, los cuales se basan en especificaciones técnicas del catálogo de MISWACO, capacidad de procesamiento de acuerdo a tipo de malla seleccionada y a los datos recopilados del reporte de perforación de pozo A, los criterios de selección son presentados en el **Cuadro 16**.

Cuadro 16. Criterio de selección para el caudal de alimentación de la zaranda.

Criterio	Importancia	Valor
Capacidades de alimentación de acuerdo a catálogo de especificaciones técnica de MISWACO	Según la empresa de fabricación, esta capacidad de alimentación es la óptima para que la zaranda trabaje eficientemente.	600 gpm

Cuadro 16. (Continuación)

Criterio	Importancia	Valor
Capacidad de procesamiento de la malla	De acuerdo al mesh de la malla que se seleccionó, se define la capacidad de procesamiento para no sobrecargar la malla.	320 gpm
Según el historial de perforación	De acuerdo al reporte de perforación del pozo A, es el caudal más alto utilizado en la perforación.	800 GPM

El caudal de alimentación de la zaranda, se selecciona por medio de la capacidad de procesamiento de la malla, ya que es necesario mantener el equipo en buen estado durante el proceso y evitar la saturación de la malla, esto disminuye la vida útil de la misma.

- **Velocidad de vibración de motor:** la velocidad del motor influye sustancialmente en la capacidad de procesamiento y en la separación de las partículas en la zaranda, la selección de la velocidad del motor se establece de acuerdo al catálogo técnico del equipo propuesto por MISWACO, manejando un valor de 1800 RPM.
- **Fuerza G:** la fuerza G de la zaranda está establecida por una función de la dinámica de la vibración, como se determina en la **Ecuación 4:**

Ecuación 4. Dinámica de vibración.

$$G's = [stroke (in) * RPM^2]/70400$$

La fuerza G de acuerdo con el curso de adiestramiento de MISWACO, también se puede establecer en un rango, el cual se encuentra entre 2,5 y 5,0.

La fuerza G se determinó en el rango de operación propuesto por MISWACO, además observando la **Ecuación 4**, la fuerza G es directamente proporcional a las revoluciones por minuto del motor, es decir a mayor velocidad del motor mayor es la fuerza G, no se determinó el dato por la ecuación, faltó el dato de Stokes, por lo tanto, se determinó de acuerdo al rango.

También se tiene en cuenta que la vida útil de la malla es inversamente proporcional a la aceleración, si la fuerza G es muy alta la vida útil de la malla disminuye. Por tanto, la fuerza G para la zaranda es de 3,5 conservando el equilibrio entre la vida útil y la dinámica de vibración.

- **Tipo de vibración:** la posición de los motores determina el tipo de movimiento vibratorio en la zaranda, como se determina en la investigación, la posición más adecuada es la elíptica porque, con esta posición se logra una mayor remoción de sólidos gruesos o pegajosos.

4.1.1.2 Variables de operación.

- **Ángulo de inclinación:** para lograr una remoción efectiva, la canasta de la zaranda vibratoria debe tener una inclinación óptima para que el fluido cubra el 75% de la canasta, esta condición ideal es la que procesa la mayor cantidad de partículas sólidas indeseables, el rango de inclinación debe estar entre -3 y +3° de acuerdo con documento de MI SWACO, así asegura que se removerán los cortes más grandes y se retirara mayor humedad de los cortes.

En el momento de operación de la zaranda se ubica el ángulo no mayor al rango estipulado, con el fin de cumplir el cubrimiento óptimo de la canasta.

- **Cauda a procesar:** de acuerdo al reporte de perforación del pozo A, el caudal a procesar se establece en un rango de 400 a 800 gpm, ya que competen al caudal máximo y mínimo de fluido de utilizado en la perforación de pozo A. se toma este rango para cubrir todas las necesidades del sistema durante la perforación, si se llegara a presentar un caudal más bajo, el sistema se encuentre en óptimas condiciones para tratarlo.
- **Cantidad de zarandas:** de acuerdo a la capacidad de alimentación de la malla definida en los parámetros de operación de la zaranda de 320 gpm, y el caudal a procesar en un rango entre 400 y 800 gpm se necesitan tres (3) zarandas de doble piso para procesar el caudal completo.

4.1.2 Mud cleaner. En base al documento de MI SWACO del año 2002, titulado, Curso de adiestramiento para el control de sólidos y Leguizamo, en su libro de control de sólidos publicado en el año 2015, como se muestra en la Cuadro 17 se determinaron posibles ventajas a comparación del sistema dividido.

Cuadro 17.Comparación entre unidades.

Sistema dividido	Sistema integrado (Mud cleaner)
Si en los hidrociclones se presenta un mal funcionamiento, se logra una pérdida de fluido considerable.	Si en los hidrociclones se presenta un mal funcionamiento, la zaranda permite asegurar que el fluido se recupere de los cortes más finos.
Hay tiempos prolongados de operación para lograr la remoción de sólidos, ya que para pasar de un equipo a otro se encuentran tanques de almacenamiento que permiten que el fluido tarde un tiempo en reposo antes de pasar al otro equipo.	Al ser un sistema integrado disminuye tiempos de almacenamiento en tanques. Ya que logra que el fluido este en constante movimiento y se de una limpieza de finos continua.
Se cuenta con más espacio para la distribución de cada unidad con sus respectivos tanques.	Al ser una unidad integrada, hay ahorro de espacio, por lo que ya no se tendrán tanques de almacenamiento intermedios cada unidad.

Como se muestra en el **cuadro 17** el mud cleaner al ser una unidad integrada logra menores tiempos de proceso y una mayor remoción de sólidos (arenas y arcillas) al tener integrada una zaranda de malla fina.

4.1.2.1 Parámetros de operación.

- **Diámetro del cono:** para la selección del diámetro del cono de los hidrociclones que componen el mud cleaner, se tendrán en cuenta los siguientes criterios expuestos en el **Cuadro 18**.

Cuadro 18.Criterios de selección para el diámetro del cono de los hidrociclones.

Criterio	Característica	Valor
De acuerdo al catálogo de MISWACO.	A partir de esta revisión se describen dos posibles rangos de hidrociclones.	Desarenadores: 8 a 12" Desarcilladores : 2 a 6"
De acuerdo con el reporte de perforación del pozo A.	Se determina el diámetro del cono de los hidrociclones utilizados en la operación de perforación del pozo A.	Desarenador: 12" Desarcillador : 4"

Cuadro 18. (Continuación)

Criterio	Característica	Valor
De acuerdo con la experticia del ingeniero con 7 años de experiencia en control de sólidos.	Teniendo en cuenta la capacidad de tratamiento del cono, se recomendaron los conos a utilizar.	Desarenador: 12" Desarcillador: 4"

De acuerdo con lo expuesto en el **cuadro 18**, se seleccionaron para el mud cleaner desarenadores de 12" y desarcilladores de 4".

- **Ángulo del cono:** los ángulos grandes generan separaciones más difusas que los ángulos pequeños, en secciones cónicas de menor ángulo logran clasificaciones más finas.

La selección del parámetro tiene en cuenta los datos que se encuentran en el catálogo técnico de MISWACO, las cuales se presentan en la **tabla 15**.

Tabla 15. Ángulo del cono.

Hidrociclón	Ángulo del cono
Desarenador	12°
Desarcillador	9°

- **Longitud total del cilindro:** un incremento en la longitud de la sección cilíndrica permite una clasificación más fina y genera mayor caudal en la salida, por lo tanto, secciones cilíndricas más cortas permiten separaciones de mayor tamaño. Además, conos largos tienden a taparse muy fácilmente.

La selección del parámetro tiene en cuenta los datos que se encuentran en el catálogo técnico de MISWACO, las cuales se presentan en la **Tabla 16**.

Tabla 16. Longitud total del cilindro.

Hidrociclón	Longitud del cilindro (mm)
Desarenador	1090
Desarcillador	635

- **Número de hidrociclones:** este parámetro se va a seleccionar de acuerdo al galonaje que se maneje en cada uno de los hidrociclones presente en la investigación, con apoyo del catálogo técnico de MISWACO y el caudal total del sistema, como se muestran en la **Tabla 17**.

Tabla 17. Determinación del número de hidrociclones en el mud cleaner.

Unidad	Caudal del hidrociclón	Caudal total del sistema	Número de hidrociclones
Desarenador de 12"	500 gpm	800 gpm	2
Desarcillador de 4"	50 gpm	800 gpm	16

- **Velocidad de separación del desarenador:** según MISWACO, Todos los hidrociclones utilizan la ley de Stokes para alcanzar la separación de sólidos del fluido. La **Ecuación 5** muestra la ley de Stokes.

Ecuación 5. Ley de Stokes

$$V_s = \frac{K * G * D_p * (\rho_s - \rho)}{\mu}$$

Donde:

V_s= velocidad de sedimentación. (ft/min)

K=Constante de Stokes. (1,55x10⁻⁷)

g=Fuerza de aceleración. (32,2 ft/s²)

D_p= Diámetro de partícula. (micrones)

ρ_s=Densidad de sólidos. (ppg)

ρ_l=Densidad del líquido. (ppg)

μ= viscosidad del líquido. (cPs)

$$V_s = \frac{1,55 \times 10^{-7} * 32,2 \frac{ft}{s^2} * (60 \text{ micrones})^2 * (16,69 \text{ ppg} - 14 \text{ ppg})}{15 \text{ cP}}$$

$$V_s = 3,12 \times 10^{-6} \frac{ft}{min}$$

Cabe aclarar que valores como densidad y la viscosidad se tuvieron en cuenta como valores promedio. La velocidad de separación calculada, es la velocidad sin tener en cuenta la fuerza centrífuga agregada.

- **Velocidad de separación del desarcillador:** según MISWACO, Todos los hidrociclones utilizan la ley de Stokes para alcanzar la separación de sólidos del fluido. La **Ecuación 6** muestra la ley de Stokes.

Ecuación 6. Ley de Stokes

$$V_s = \frac{K * G * D_p^2 * (\rho_s - \rho)}{\mu}$$

Donde:

V_s = velocidad de sedimentación. (ft/min)

K =Constante de Stokes. ($1,55 \times 10^{-7}$)

G =Fuerza de aceleración. ($32,2 \text{ ft/s}^2$)

D_p = Diámetro de partícula. (micrones)

ρ_s =Densidad de sólidos. (ppg)

ρ_l =Densidad del líquido. (ppg)

μ = viscosidad del líquido. (cPs)

$$V_s = \frac{1,55 \times 10^{-7} * 32,2 \frac{ft}{s^2} * (60 \text{ micrones})^2 * (23,36 \text{ ppg} - 14 \text{ ppg})}{15 \text{ cP}}$$

$$V_s = 1,2 \times 10^{-6} \frac{ft}{min}$$

Cabe aclarar que valores como densidad y la viscosidad se tuvieron en cuenta como valores promedio. La velocidad de separación calculada, es la velocidad sin tener en cuenta la fuerza centrífuga agregada.

- **Bomba centrífuga de los hidrociclones:** para la selección de la bomba centrífuga se tendrá en cuenta el método de cálculo de la potencia de bomba, se toma en cuenta el caudal más alto de trabajo siendo 800 gpm, el cual se mantiene constante durante todo el proceso, a continuación, se presenta la **Ecuación 7** para el cálculo de la potencia de la bomba.

Ecuación 7. Potencia de la bomba.

$$P = \frac{GPM * H * GE}{3960 * Ef}$$

Donde

P =potencia de la bomba (HP)

GPM= galones por minuto de entrada.

H = Cabeza de alimentación (ft) (normalmente son 75 ft de cabeza).

GE = Gravedad específica (densidad (lb/gal)/8.33).

Ef =Eficiencia, si no hay valor a considerar se toma 75% de eficiencia.

$$P = \frac{800 \text{ gpm} * 75 \text{ ft} * (14 \frac{lb}{gal})}{3960 * 0,75 * 8,33}$$

$$P = 33,95 \text{ HP} = 25 \text{ Kw}$$

La bomba más apropiada para los hidrociclones seleccionados en el mud cleaner posee una potencia de 25 KW.

- **Diámetro de entrada de la alimentación:** la eficiencia del cono es inversamente proporcional al diámetro de la entrada de alimentación. Por lo tanto, un diámetro pequeño mejora el punto de corte, sin embargo, el diámetro debe ser lo suficiente para manejar el flujo que va al cono.

La selección del parámetro tiene en cuenta los datos que se encuentran en el catálogo técnico de MI SWACO, las cuales se presentan en la **Tabla 18**.

Tabla18. Diámetro de entrada de la alimentación.

Hidrociclón	Diámetro de entrada (mm)
Desarenador	61
Desarcillador	10

- **Tipo de malla:** para que una zaranda tenga un funcionamiento adecuado se debe seleccionar una malla con las características indicadas, de acuerdo al diseño del equipo se presentan 3 criterios de selección a tener en cuenta, los cuales se muestran en el **cuadro19**.

Cuadro 19. Criterios de selección para el tipo de malla.

Criterio	Característica	Tipo
Según catálogo de MISWACO	Según la empresa de fabricación, recomienda un tipo de malla para la zaranda elaborada.	Mallas planas-pretensionadas
Según el historial de perforación	Se tendrán en cuenta las mallas utilizadas en sistema de control de sólidos utilizado en la perforación del pozo A.	Mallas planas-pretensionadas
Según experticia del ingeniero, con 7 años de experiencia en control de sólidos	Se hizo la recomendación de acuerdo a la obtención de cortes más secos.	Mallas piramidales-pretensionadas

El tipo de malla seleccionado, según los criterios presentados en la **Tabla 36**, es una malla piramidal-pretensionada porque este tipo de mallas logra mayor área de contacto con el fluido y así reducir pérdidas de fluido adherido a los cortes.

- **Mesh de la malla:** para la selección del mesh de la malla se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos, mencionados en el **cuadro 20**.

Cuadro 20. Aspectos para la selección del mesh de la malla.

Aspecto	Característica
Tamaño de corte	Como se muestra en el capítulo 3, se presenta los diferentes tamaños de corte que salen del pozo A.
Experticia del ingeniero	De acuerdo a las condiciones de operación y a los tamaños de corte se propusieron los mesh de las mallas para cada sección.

De acuerdo con los aspectos del **cuadro 20**, el mesh de la malla de la zaranda es de 210 (API 200), es una malla fina pertinente para terminar el proceso de separación de las fases.

- **Velocidad de vibración de motor:** la velocidad del motor influye sustancialmente en la capacidad de procesamiento y en la separación de las partículas en la zaranda, la selección de la velocidad del motor se establece de acuerdo al catálogo técnico del equipo propuesto por MISWACO, manejando un valor de 1800 RPM.
- **Tipo de vibración:** la posición de los motores determina el tipo de movimiento vibratorio en la zaranda, como se determina en la investigación, la posición más adecuada es la elíptica porque, con esta posición se remover mayor humedad en los cortes.

4.1.2.2 Variables de operación.

- **Tipo de descarga:** para la operación adecuada en los hidrociclones se debe tener una descarga tipo spray esto asegura que el hidrociclón está trabajando a la presión adecuada y no se está perdiendo fluido durante la descarga.
- **Cabeza de alimentación:** la cabeza de alimentación es uno de los factores para la óptima descarga del cono, a continuación, se presentan los dos métodos de cálculo para su determinación. El primero de acuerdo al cálculo de la presión por medio de la **Ecuación 8** de la presión de cabeza de alimentación y el segundo de acuerdo a la heurística de cálculo de 4 veces el peso de lodo. Los dos métodos se presentan a continuación.

Ecuación 8. Calculo de la cabeza de alimentación.

$$P = 0,052 * M_w * H$$

Donde

P= presión de alimentación a la entrada del cono (psi).

M_w= Densidad del lodo (ppg).

H=Cabeza de alimentación (ft) (normalmente son 75 ft de cabeza).

De acuerdo a **Ecuación 8**, se presentan los resultados de la presión para cada uno de los fluidos a tratar en la **Tabla 19**.

Tabla 19. Presión de alimentación de acuerdo al cálculo de la cabeza de alimentación.

Fluidos de perforación	Presión de alimentación (psi)
Spud Mud	33, 54
Boremax	54,6
Barandril-N	34,32

Para el método de cálculo por medio de la heurística se tiene en la **Ecuación 9**.

Ecuación 9. Heurística para determinación de la presión de alimentación.

$$P = 4 * M_w$$

Donde:

P= presión de alimentación (psi).

M_w=Densidad del lodo (ppg).

De acuerdo a la ecuación 7, se presentan los resultados de la presión para cada uno de los fluidos a tratar en la **Tabla 20**.

Tabla20. Presión de alimentación de acuerdo a la heurística.

Fluidos de perforación	Presión de alimentación (psi)
Spud Mud	34,4
Boremax	56
Barandril-N	35, 2

Teniendo en cuenta los resultados de las **Tablas 19 y 20**, y la recomendación de Ecopetrol S.A., se tomarán los valores de presión determinados con la ecuación 8, ya que no se muestra gran diferencia entre los dos métodos.

4.1.3 Centrífuga decantadora.

4.1.3.1 Parámetros de operación. De acuerdo al documento de MISWACO del año 2002, titulado, Curso de adiestramiento para el control de sólidos, las centrífugas decantadoras operan de acuerdo con los siguientes parámetros como se observa a continuación.

- **Arreglo de las centrífugas decantadoras:** para la selección del arreglo de las centrífugas se tuvo en cuenta la revisión bibliográfica realizada, donde se

mencionan dos tipos de arreglos. En serie y en paralelo, el arreglo de centrífugas decantadoras pertinentes para el sistema de control de sólidos a proponer, es el arreglo en serie para la sección 2, ya que el fluido a tratar contiene grandes cantidades de material densificante conocido como barita, y es necesario recuperarlo en la primera centrífuga para evitar las pérdidas.

Para la recuperación de barita la centrífuga debe ser de baja velocidad, la siguiente centrífuga debe terminar de remover los sólidos así que debe ser de alta velocidad.

Para las secciones 1 y 3 se tiene una configuración en paralelo, para lograr remover todos los sólidos indeseados en el lodo.

- **Velocidad de sedimentación:** según MISWACO, todas las centrífugas utilizan la ley de Stokes para alcanzar la separación de sólidos del fluido. La **Ecuación 10** muestra la ley de Stokes.

Ecuación 10. Ley de Stokes

$$V_s = \frac{K * G * D_p^2 * (\rho_s - \rho)}{\mu}$$

Donde:

V_s = velocidad de sedimentación. (Ft/min)

K =Constante de Stokes. ($1,55 \times 10^{-7}$)

G =Fuerza de aceleración. (32,2 ft/s)

D_p = Diámetro de partícula. (Micrones)

ρ_s =Densidad de sólidos. (ppg)

ρ_l =Densidad del líquido. (ppg)

μ = viscosidad del líquido. (cp)

$$V_s = \frac{1,55 \times 10^{-7} * 32,2 \frac{ft}{s^2} * (4 \text{ micrones})^2 * (25 \text{ ppg} - 14 \text{ ppg})}{15 \text{ cP}}$$

$$V_s = 5,64 \times 10^{-8} \frac{ft}{min}$$

Cabe aclarar que valores como densidad y la viscosidad se tuvieron en cuenta como valores promedio. La velocidad de separación calculada, no tiene en cuenta la fuerza centrífuga agregada.

- **Velocidad de tazón cilíndrico:** este parámetro se va a tener en cuenta ya que la velocidad del tazón o bowl como se conoce comúnmente determina la característica de las centrífugas, Es decir determina si es de baja o alta velocidad. En la **Tabla 40** se muestran los criterios que se tuvieron en cuenta para la selección del parámetro.

Tabla21. Criterio de selección para la velocidad del tazón.

Criterio	Características	Valor	
Según el historial de perforación	De acuerdo al reporte de perforación del pozo A, muestra que se utilizaron 2 centrifugas.	Centrífuga de baja velocidad 2000 rpm	Centrífuga de alta velocidad 3200 rpm
Velocidad del tazón de acuerdo a catálogo de especificaciones técnica de MISWACO	Según la empresa de fabricación, esta velocidad del tazón es la óptima para que las centrifugas trabajen eficientemente.	Centrífuga de baja velocidad 1800 RPM	Centrífuga de alta velocidad 3200 RPM

La selección del parámetro tiene en cuenta los datos que se encuentran en el catálogo técnico de MISWACO, las cuales se presentan en la **Tabla 22**.

Tabla22. Velocidad del tazón.

Centrífuga	Velocidad del tazón (rpm)
Baja velocidad (recuperadora de barita)	1800
alta velocidad	3200

- **Diámetro del tazón:** se tendrá en cuenta el diámetro del tazón ya que es un parámetro que influye en el cálculo de la fuerza g, y su selección permite que esta fuerza sea la adecuada para el funcionamiento de las centrifugas decantadoras.

La selección del parámetro tiene en cuenta los datos que se encuentran en el catálogo técnico de miswaco, las cuales se presentan en la **tabla 23**.

Tabla23. Diámetro del tazón.

Centrífuga	Diámetro del tazón (mm)
Baja velocidad (recuperadora de barita)	450
Alta velocidad	360

- **Fuerza G:** la fuerza G es el principio de aceleración de la centrifuga, para su cálculo utilizan las velocidades y diámetros propuestos anteriormente, el cálculo de la fuerza G se realiza de acuerdo a la **Ecuación 11**.

Ecuación 11. Fuerza G.

$$G = D * RPM^2 * 0,0000142$$

Los resultados de la ecuación 11 se muestran en la **Tabla 24**.

Tabla24. Fuerza G calculada.

Centrífuga	Fuerza g
Recuperadora de barita	644
Alta velocidad	2100

Para sustentar los parámetros selección anteriormente y los cálculos de fuerza G, se presentan los datos de fuerza G para cada tipo de centrífuga y velocidad del bowl, de acuerdo al curso de adiestramiento de control de sólidos de MISWACO, los datos se presentan en la **Tabla 25**.

Tabla25. Fuerza G de acuerdo al tipo de centrífuga y velocidad del bowl.

Centrífuga	Velocidad del bowl (rpm)	Fuerza g
Recuperadora de barita	1900	720
Alta velocidad	2500	1250
Alta velocidad	3200	2100

Como se muestra en la **Tabla 44**, los datos concuerdan con los cálculos realizados de la fuerza G y los parámetros seleccionados del diámetro y la longitud del tazón.

- **Punto de corte:** la centrífuga recuperadora de barita alcanza recuperar corte entre 0, 0005 mm y mayores a 0,002 como se identifican en el marco teórico, esto logran que la primera centrífuga solo recupere los sólidos de alta gravedad específica es decir el material densificante.
- **Capacidad de alimentación:** una centrífuga decantadora tiene una tasa de alimentación máxima, dependiendo de la aplicación, de acuerdo al curso de adiestramiento de control de sólidos de MISWACO, la capacidad de una centrífuga decantadora tiene un rango de 40 a 100 gpm.
- **Potencia de la bomba:**Para la selección de la bomba, se toma en cuenta el caudal más alto de trabajo siendo 800 gpm, el cual se mantiene constante durante todo el proceso, a continuación, se presenta en la **Ecuación 12** para el cálculo de la potencia de la bomba.

Ecuación 12. Potencia de la bomba.

$$P = \frac{GPM * H * GE}{3960 * Ef}$$

Donde

P=potencia de la bomba (HP)

GPM= galones por minuto de entrada.

H= Cabeza de alimentación (ft).

GE= Gravedad especifica (densidad (lb/gal)/8.33).

Ef=Eficiencia, si no hay valor a considerar se toma 75% de eficiencia.

$$P = \frac{800 \text{ gpm} * 75 \text{ ft} * (14 \frac{\text{lb}}{\text{gal}})}{3960 * 0,75 * 8,33}$$

$$P = 33,95 \text{ HP} = 25 \text{ Kw}$$

4.1.3.2 Variables de operación.

- **Velocidad diferencial:** La velocidad diferencial relaciona la velocidad que existe entre el tazón y el tornillo sin fin, además una velocidad diferencial óptima determina el contenido de sólidos en la zona de descarga. La investigación determina que el rango de la velocidad diferencial está en un rango de 0 a 60 rpm. Para su selección se tendrá en cuenta, que la velocidad diferencial en la centrífuga recuperadora de barita, debe ser la suficiente para recuperar los sólidos y en la centrífuga de alta velocidad debe ser la mínima posible ya que se busca retirar los sólidos que aún quedan en el fluido. Los datos seleccionados se muestran en la **Tabla 26**.

Tabla26. Velocidad de diferencial.

Centrífuga	Velocidad diferencial (rpm)
Recuperadora de barita	45
Alta velocidad	23

- **Presión de trabajo:** la presión de trabajo para las centrífugas decantadoras se realiza por medio de una relación entre la densidad y la altura de del líquido conocido como la carga, esta sería la presión máxima en la descarga de la bomba, luego la presión disminuirá hasta cero, según la aspiración y la fricción

hasta que el fluido salga del sistema. La determinación de la presión de trabajo se realiza de acuerdo a la **Ecuación 13**.

Ecuación 13. Calculo de la cabeza de alimentación.

$$P = 0,052 * M_w * H$$

Donde

P= presión de alimentación a la entrada del cono (psi)

M_w= Densidad del lodo (ppg)

H=Cabeza de alimentación (ft)

De acuerdo a **Ecuación 13**, se presentan los resultados de la presión para cada uno de los fluidos a tratar en la **Tabla 27**.

Tabla27. Presión de trabajo en las centrifugas.

Fluidos de perforación	Presión de alimentación (psi)
Spud Mud	33, 54
Boremax	54,6
Barandril-N	34,32

- **Caudal a procesar:** Para la determinación del caudal de entrada se tendrá en cuenta la siguiente heurística de cálculo.

Ecuación 14. Caudal de entrada a la centrifuga.

$$Q_e = 10\% Q_t$$

Donde

Q_e= Caudal de entrada de la centrifuga.

Q_t=Caudal total del sistema.

De acuerdo a la **Ecuación 14**, el caudal de entrada a la centrifuga es de 80 gpm en el tratamiento de los 2 primeros fluidos y de 40 gpm en el último fluido a tratar.

4.1.4 Tanques de lodo.

4.1.4.1 Parámetros de operación. De acuerdo al documento de MISWACO del año 2002, titulado, Curso de adiestramiento para el control de sólidos, los tanques operan de acuerdo con los siguientes parámetros como se observa a continuación:

- **Volumen del tanque:** la determinación del volumen de los tanques de lodo necesarios en el sistema se puede calcular por medio de la **Ecuación 15**.

Ecuación 15. Volumen de los tanques de lodo.

$$V = l * A * h$$

Donde:

V= volumen del tanque (ft³).

h=altura del tanque (ft).

r= largo del tanque (ft).

A= ancho del tanque (ft).

$$V = 16ft * 6ft * 3ft$$

$$V = 288 ft^3$$

Las dimensiones de los tanques son de acuerdo a los tanques que se encontraron en el sistema de control de sólidos utilizado en el pozo A.

Se utilizan 6 tanques que se utilizan en el sistema por lo tanto el volumen total de tanques está determinado por la **Ecuación 16**.

Ecuación 16. Volumen total de los tanques.

$$Vt = 288 ft^3 * 6 tanques$$

$$V = 1,728 ft^3$$

- **Altura del tanque:** para la determinación de la altura del tanque tiene en cuenta la relación proporcionada en el catálogo técnico de MISWACO, donde la altura varía 1 pie por cada barril. Donde:

$$800 gpm = 19 Bl$$

$$h = 3 ft por tanque$$

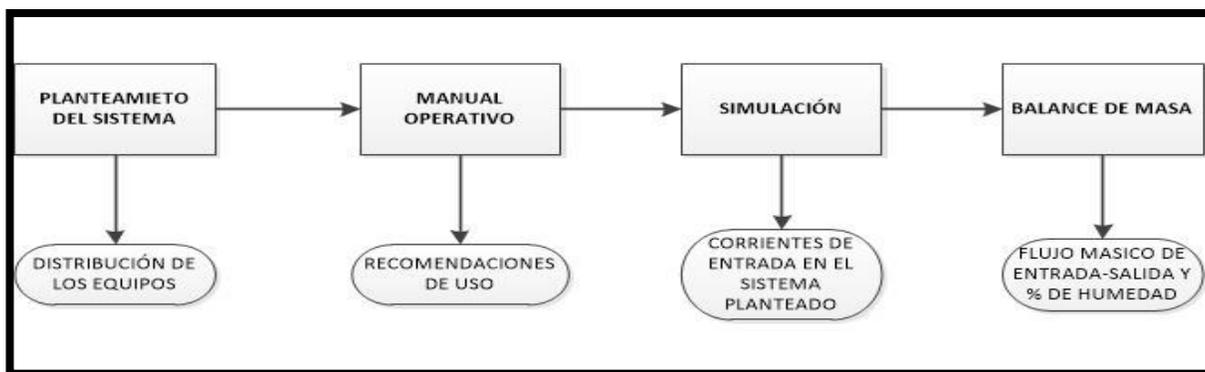
5. PLANTEAMIENTO DEL SISTEMA DE CONTROL DE SÓLIDOS

Luego de la parametrización de los equipos se procede a realizar el planteamiento del sistema de control de sólidos, cada uno de los equipos seleccionados será dibujado en Solid Works bajo dimensiones estándar, además se especificarán sus características de funcionamiento dependiendo el tipo de fluido de perforación y su sección, se llevará a cabo la simulación del sistema en Aspen plus para los tres fluidos provenientes del pozo luego del proceso de perforación.

5.1 METODOLOGÍA DEL PLANTEAMIENTO

Para llevar a cabo el planteamiento del sistema de control de sólidos se tendrá en cuenta la siguiente metodología de desarrollo, como se muestra en la **Figura 17**.

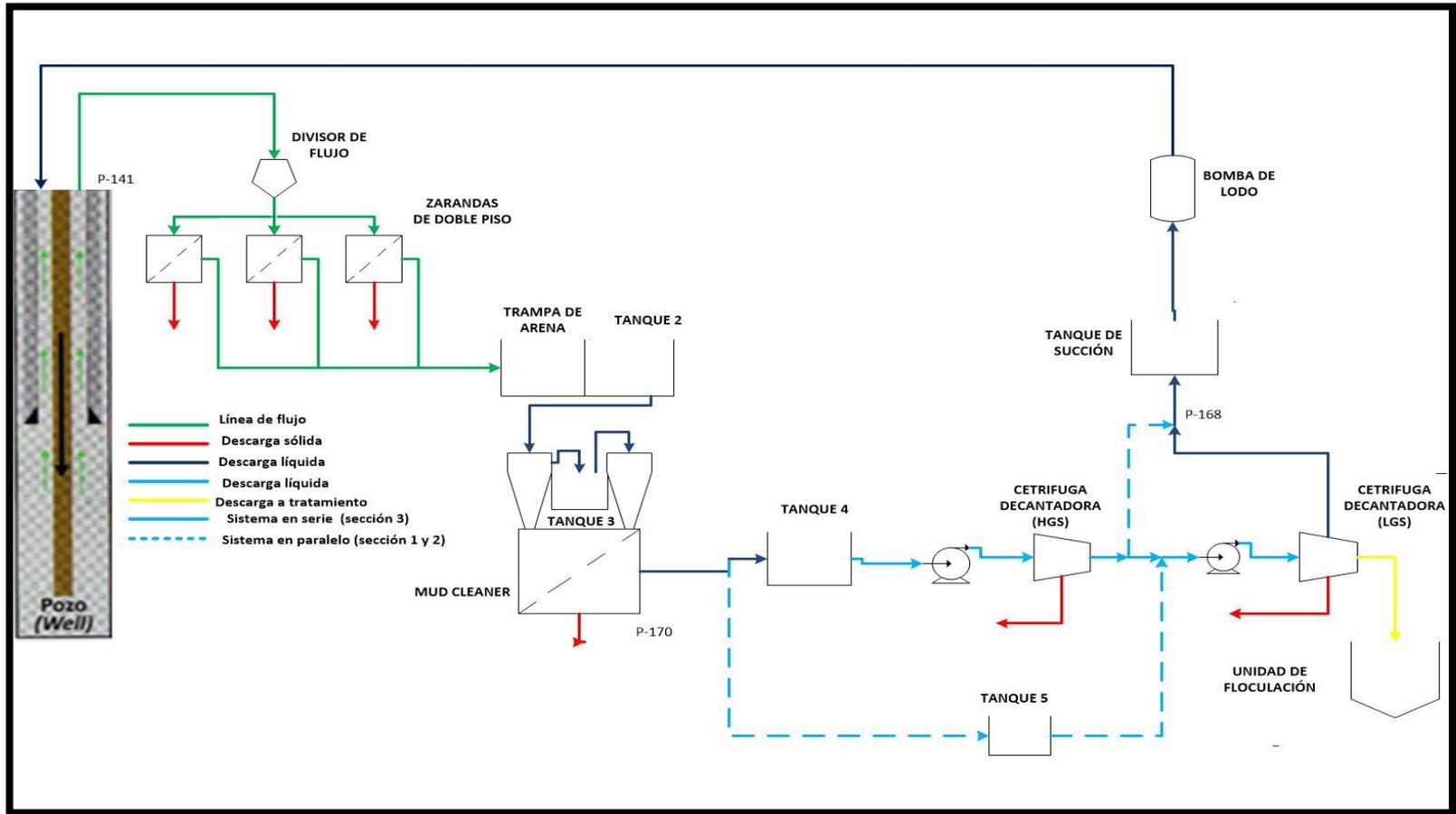
Figura 17. Metodología.



5.2 PLANTEAMIENTO DE SISTEMA

Para el sistema de control de sólidos propuesto, se tiene en cuenta la siguiente distribución, en primer lugar, se instalarán 3 zarandas de doble piso, las cuales cumplirán la función de zarandas primarias y secundarias en el mismo equipo, ahorrando espacio y haciendo más funcional el sistema, además se incluye el divisor de flujo antes de las zarandas. Luego, se da paso al mud cleaner, el cual sigue las especificaciones determinadas en la selección de los parámetros. Como último equipo, están las centrífugas las cuales se organizan en serie y en paralelo, buscando recuperar la barita en el caso que sea necesario. El sistema tendrá 6 tanques dentro del sistema que competen a la trampa de arena, taques que permiten el paso de los equipos (4) y un tanque de succión, el volumen se especifica en el capítulo anterior, El planteamiento del sistema se representa en la **Figura 18**.

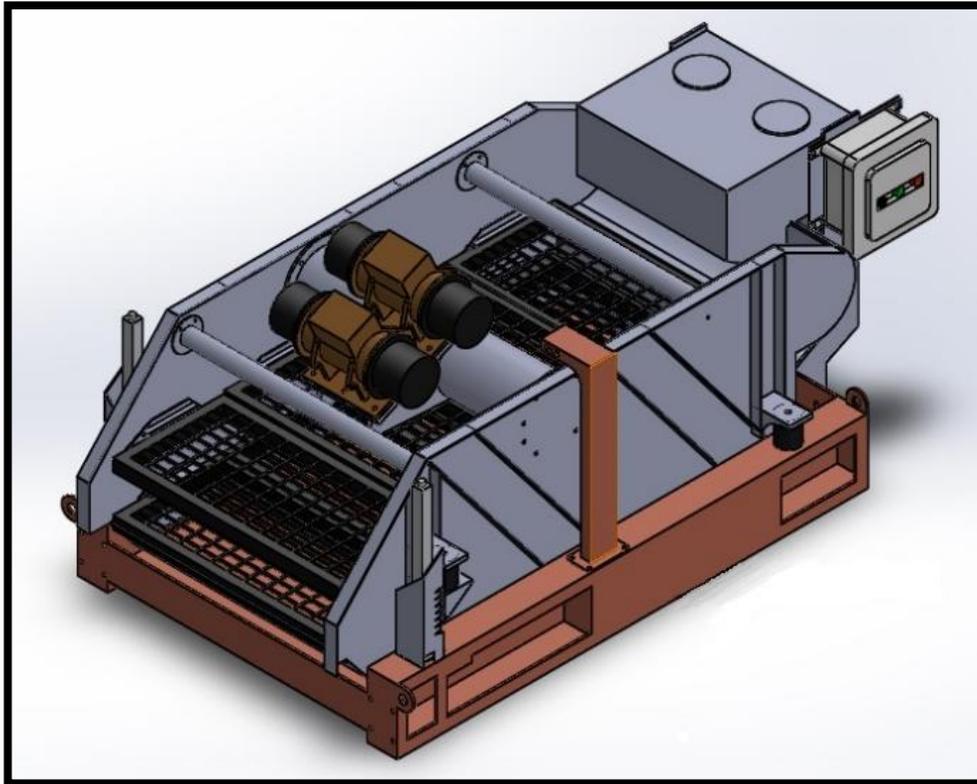
Figura 18. Planteamiento del sistema.



5.3 MANUAL OPERATIVO DEL SISTEMA

5.3.1 Zaranda. El efluente proveniente del pozo entra a las zarandas de doble piso como la que se muestra en la Figura 19. La cual fue dibujada en solidworks.

Figura 19. Zaranda vibratoria de doble piso.



Para un buen funcionamiento de las zarandas de doble piso se utilizan las siguientes condiciones de operación y se tienen en cuenta las recomendaciones de uso presentes en el **cuadro 21**.

Cuadro 21. Manual operativo de las zarandas vibratorias de doble piso.

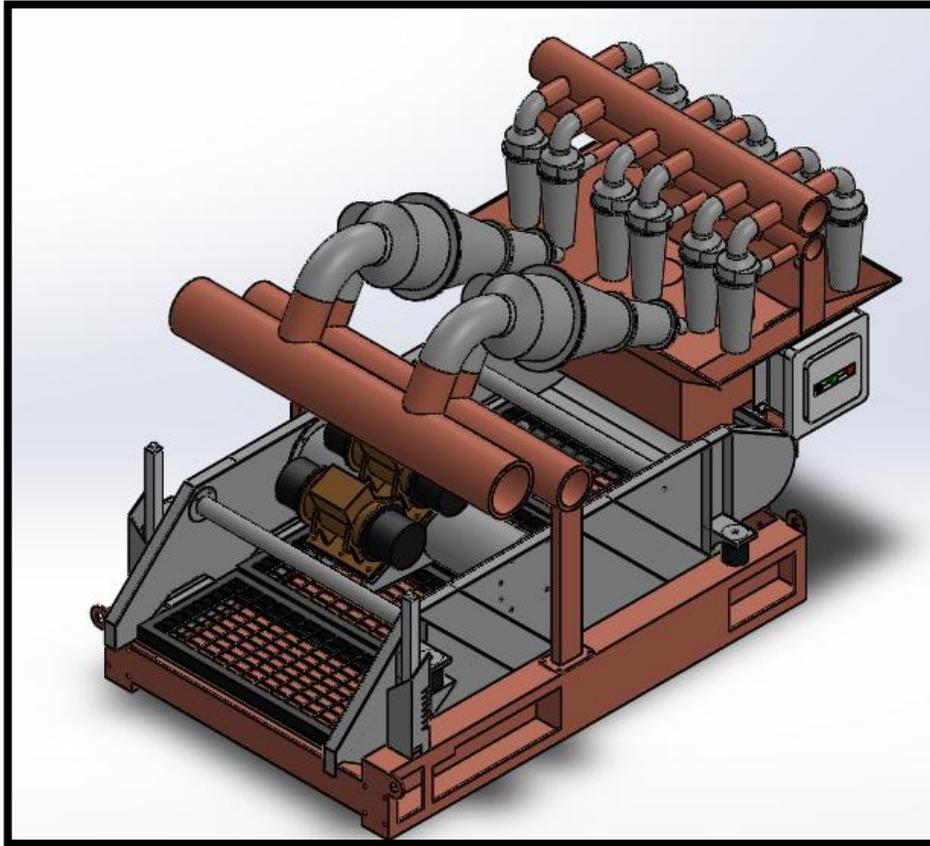
Zaranda de doble piso	
Modo de vibración	Vibración elíptica
Capacidad de alimentación	320 gpm
Velocidad de vibración del motor	1800 rpm
Tipo de malla	Piramidal pretensionada

Cuadro 21. (Continuación)

Zaranda de doble piso	
Ángulo de inclinación	-3° ~ +3°
Fuerza G	3,5
Cantidad de zarandas	3
Caudal a procesar	400 a 800 gpm
recomendaciones de uso:	
No sobrecargar las zarandas, usar un divisor de flujo para que el caudal en todas las zarandas sea igual.	
En promedio las mallas se cambian 3 veces por cada sección perforada. Un promedio mayor a este implica una revisión general al equipo.	
Si la remoción de sólidos no está siendo eficiente variar el mesh de la malla o el ángulo de inclinación.	
revisar si las pesas y contrapesas están desbalanceadas.	
Revisar cómo se está realizando el movimiento de los cortes, ya que puede generar cambio de malla más seguido.	
La cubierta de la zaranda está hecha en acero inoxidable para aumentar la vida útil.	
La fuerza G puede aumentar hasta 7.1 para que la descarga de sólidos sea con menos humedad.	
Se realiza una evaluación técnica de eficiencia de equipo que pertenece al control de sólidos.	
Revisar si el equipo se encuentra completo, y que si ha habido cambios de piezas sus repuestos sean los originales.	
Realizar pruebas de eficiencia y pruebas de capacidad.	

5.3.2 Mud Cleaner. Luego de que el fluido de perforación a tratar pasa por las zarandas, son dirigidos a unos tanques intermedios y de ahí al mud cleaner del pozo como el que se muestra en la Figura 20. El cual fue dibujado en solidworks.

Figura 20. Mud cleaner.



La **Figura 20**, Se muestra el dibujo del mud cleaner realizado en Solids Works, su disposición de la tubería de entrada, que pasa directamente a los desarenadores, de allí a los desarcilladores y por último a la zaranda. A continuación, se presenta el manual operativo del mud cleaner en el **cuadro 22**.

Cuadro 22. Manual operativo del mud cleaner.

Mud cleaner	
Potencia de la bomba	25 KW
Numero de desarenadores	2
Ángulo del desarenador	12°
Diámetro de entrada al desarenador	61 mm

Cuadro 22. (Continuación).

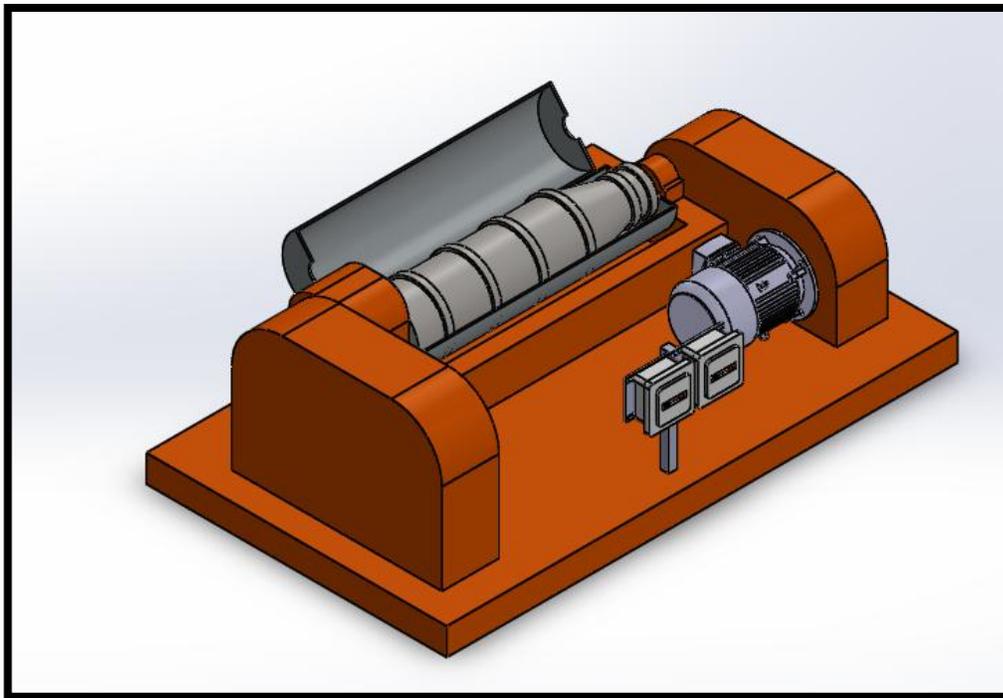
Mud cleaner	
Longitud del cilindro del desarenador	1090 mm
Numero de desarcilladores	16
Ángulo del desarcillador	9°
Longitud del cilindro del desarcillador	635 mm
Diámetro de entrada al desarcillador	10 mm
Tipo de descarga de los hidrociclones	spray
Presión de trabajo	34, 4 a 56 psi
Velocidad de vibración del motor	1800 rpm
Tipo de vibración	Vibración elíptica
Tipo de malla	Piramidal pretensionada
Mesh de la malla	210
Ángulo de inclinación	-3° ~ +3°
recomendaciones de uso:	
<p>Se realiza una evaluación técnica de eficiencia del equipo que pertenece al control de sólidos.</p> <p>Revisar que los conos de los hidrociclones estén funcionando bien, y que las boquillas no estén desgastadas ya que se generan turbulencias.</p> <p>Chequee continuamente el funcionamiento de los conos. Los conos de los desarcilladores se tapan más fácilmente que el de los desarenadores</p> <p>El número de conos debe ser el suficiente para manejar la totalidad de la circulación</p> <p>La succión de las bombas centrífugas debe tener la longitud menos posible. No juegue con los diámetros de la tubería, use diámetros contantes de acuerdo con las especificaciones de la bomba.</p> <p>La descarga de las bombas centrífugas debe tener una longitud máxima de 75” evitando usar la menos cantidad de accesorios posibles (Codos, Tee’s,etc), para evitar muchas pérdidas por fricción.</p>	

Cuadro 22. (Continuación).

Mud cleaner
<p>Ubique un medidor de presión en la línea de alimentación de los manifolds, para determinar rápidamente si la cabeza suministrada por la bomba es la correcta.</p> <p>Revisar si el equipo se encuentra completo, y que si ha habido cambios de piezas sus repuestos sean los originales.</p> <p>Si la remoción de sólidos no está siendo eficiente, variar el mesh de la malla o el ángulo de inclinación.</p> <p>revisar si las pesas y contrapesas están desbalanceadas.</p> <p>Revisar cómo se está realizando el movimiento de los cortes, ya que puede generar cambio de malla más seguido.</p>

Centrífuga decantadora. El efluente proveniente del mud cleaner pasa directamente a las centrífugas como la que se muestra en la Figura 21. La cual fue dibujada en solidworks.

Figura 21.Centrífuga.



Para el buen funcionamiento de las centrífugas hay que tener en cuenta el manual operativo que se presentan a continuación.

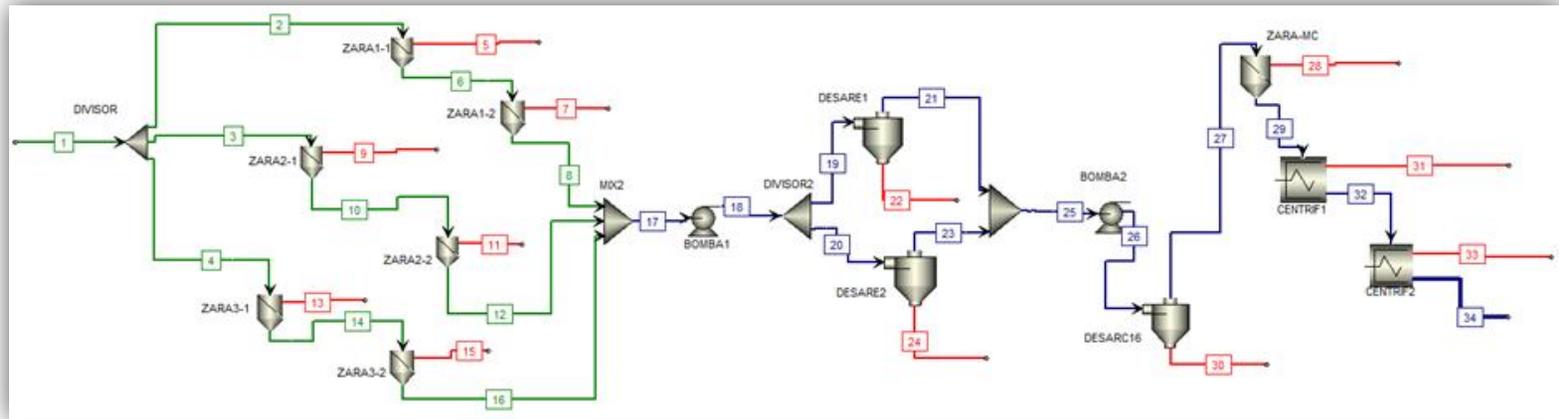
Cuadro 23.Manual operativo de las centrifugas decantadoras:

Centrifugas decantadoras	
Arreglo de las centrifugas	serie
Velocidad de la centrifuga recuperadora de barita	1800 rpm
Diámetro de la centrifuga recuperadora de barita	450 mm
Fuerza G de la centrifuga recuperadora de barita	644 rpm
Velocidad diferencial de la centrifuga recuperadora de barita	45 rpm
Velocidad de la centrifuga de alta velocidad	3200 rpm
Diámetro de la centrifuga de alta velocidad	360 mm
Fuerza G de la centrifuga de alta velocidad	2100
Velocidad diferencial de la centrifuga de alta velocidad	23 rpm
Bomba recomendada	25 KW
Capacidad de alimentación	40 a 100 gpm
Presión de trabajo	34,4 a 56 psi
recomendaciones de uso:	
Se realiza una evaluación técnica de eficiencia del equipo que pertenece al control de sólidos.	
Revisar si el equipo se encuentra completo, y que si ha habido cambios de piezas sus repuestos sean los originales.	
Realizar pruebas de eficiencia y pruebas de capacidad.	
La centrifuga debe mantener su velocidad óptima (RPM).	
Revisar la retorta para determinar qué tan secos o húmedos están los cortes.	

5.4 SIMULACIÓN Y BALANCE DE MASA

La simulación del sistema se realizó en Aspen plus, permitiendo así simular el comportamiento del sistema, es decir la separación de los sólidos y comparación de flujos másicos de la entrada y la salida del sistema. Cabe aclarar que los resultados de la simulación varían, si los parámetros de operación proporcionados al simulador se cambian, al igual que el método por el cual se lleva a cabo. Lo que se busca con la simulación es dar un resultado lo más acertado y parecido a la realidad de la separación de las fases bajo las condiciones de operación propuestas. El sistema planteado en el simulador se lleva a cabo como se muestra en la **Figura 22**

Figura 22. Planteamiento del sistema en el simulador.



línea de flujo	identificación
	Descarga sólida
	Línea de flujo
	Descarga líquida

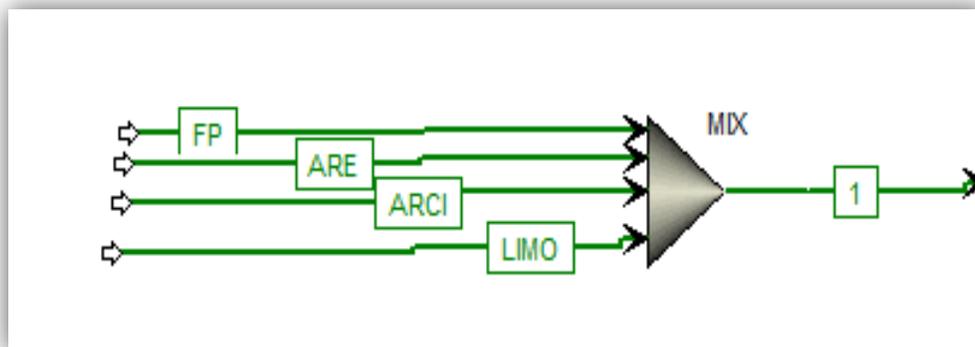
Como se puede observar en la **Figura 22**, El primer equipo del sistema de control de sólidos propuesto fueron las 3 zarandas de doble piso, y como se mencionó, se le instauro un divisor de flujo para no sobrecargar ninguna de las zarandas, las corrientes 2, 3 y 4 van cada una dirigidas a una zaranda donde se muestra por separado su paso por las dos mallas que componen cada una de zarandas, luego la corriente 17 va dirigida al sistema 3 en 1 del mud cleaner, donde los dos desarenadores por facilidad de instalaron separados, los 16 desarcilladores se configuraron en un solo hidrociclón, y la zaranda se encuentra luego de los hidrociclones dando como resultado la corriente 29. Los últimos equipos del sistema de control de sólidos propuesto son las centrífugas, éstas colocadas en serie, cabe aclarar que, para determinar la humedad de los cortes en estos últimos equipos, ya que no hay pruebas experimentales, se le proporciono una humedad resultante donde la centrífuga funcionaba y las pérdidas de fluido no eran muy grandes, la corriente de salida de todo del sistema de control de sólidos es la corriente 34.

A partir del sistema planteado en simulador se especificaron las corrientes de entrada, las cuales están dadas por separado y luego mezclada para facilidad de la entrada corrientes y de concentraciones en el simulador.

Las corrientes de entrada en las 3 simulaciones diferentes se presentan a continuación.

5.4.1 Sección 1 (fluido de perforación spud mud).La corriente de entrada al sistema de control de sólidos en el tratamiento al primer fluido de perforación se muestra en la Figura 23:

Figura 23. Corriente de entrada química al tratamiento 1.



- **Corriente de entrada del fluido de perforación (FP):** para esta corriente de entrada se tiene en cuenta la formulación química del fluido de perforación, es

decir la concentración de cada uno de los compuestos. El caudal químico de entrada de esta sección es 800 gpm de fluido de perforación (asumiendo que no existen pérdidas de fluidos en el sistema de perforación):

Tabla 28. Corriente FP del fluido de perforación spud mud.

Componente	Especificación química	Flujo (lb/gal)
BENTONITA	$Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$	0,4286

- **Corriente de entrada física:** para la determinación de la corriente de entrada física, se toma en cuenta el volumen total de cortes obtenidos (12795 galones en toda la sección perforada) el cual se dividió en las 3 componentes de la formación que hacen parte de la sección. (4265 por componente)

La primera sección duro 17 horas en ser perforada, con una profundidad de 1190 ft. Se propone la suposición de que el volumen de cortes obtenidos por hora es igual.

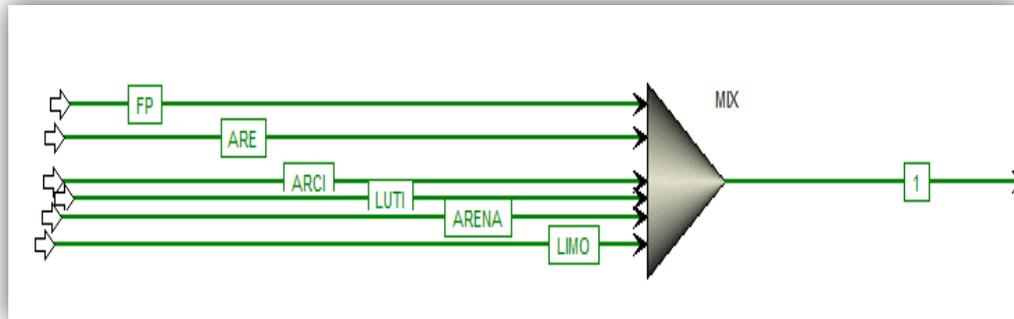
Volumen de corte por hora: 752, 647058 gal / h.

Tabla 29. Corriente física en el tratamiento del fluido spud mud.

Componente	Especificación química	%	Flujo Gal/ h	Fracción del corte (mm)	
arenisca	$SiO_2 \cdot Fe_2O_3$	33,3	250, 88	30%	70 %
				0,5-1	0,25-0,5
arcillolita	$Al_2O_3 \cdot 4SiO_2$	33.3	250, 88	30%	70 %
				0,0039-0,5	0,0039-0,1
limonita	$FeO (OH) \cdot n H_2O$	33,3	250, 88	30%	70 %
				0,25-0,5	0,5-1

5.4.2 Sección 2 (fluido de perforación Boremax). La corriente de entrada al sistema de control de sólidos en el tratamiento al segundo fluido de perforación se muestra en la Figura 24.

Figura 24. Corriente de entrada química al tratamiento 2.



- **Corriente FP del fluido de perforación spud mud:** para esta corriente de entrada se tendrá en cuenta la formulación química del fluido de perforación, es decir la concentración de cada uno de los compuestos. El caudal químico de entrada de esta sección es 800 gpm de fluido de perforación (asumiendo que no existen pérdidas de fluidos en el proceso de perforación):

Tabla30. Corriente FP fluido de perforación Boremax.

Aditivo (nombre)	Especificación química	Flujo (lb/gal)
BORE-VIS™	$Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$	0,2143
BARAZAN®D	C33 H49 O29	0,2143
CLAY GRABBER®	$(CH_3 H_5 NO)_n$	0,023
POLIAC® PLUS	$(CH_3 H_4 O_2)_n$	0,023
BORE-PLUS	$(CH_2=CHCOO^-)$	0,0238
CLAY SEAL US®	$C_5H_{11}NO_2$	$5,95 \times 10^{-3}$
POTASA CÁUTICA	KOH	$8,35 \times 10^{-7}$
ACETATO DE POTASIO	CH_3CO_2K	0,0952
BAROID®	$BaSO_4$	8,33

- **Corriente de entrada física:** para la determinación de la corriente de entrada, se tendrá en cuenta el volumen total de cortes obtenidos (34525 galones en toda la sección perforada) el cual se dividió en los 17 componentes de la formación que hacen parte de la sección, cabe aclarar que los componentes se repiten por unidad, el flujo de cada componente identificado (5 en total) puede variar por su repetición por unidad.

(2030,88 por componente)

La segunda sección duro 66 horas en ser perforada, con una profundidad de 5515 ft. Se tendrá en cuenta la suposición que le volumen de cortes obtenidos por hora son iguales.

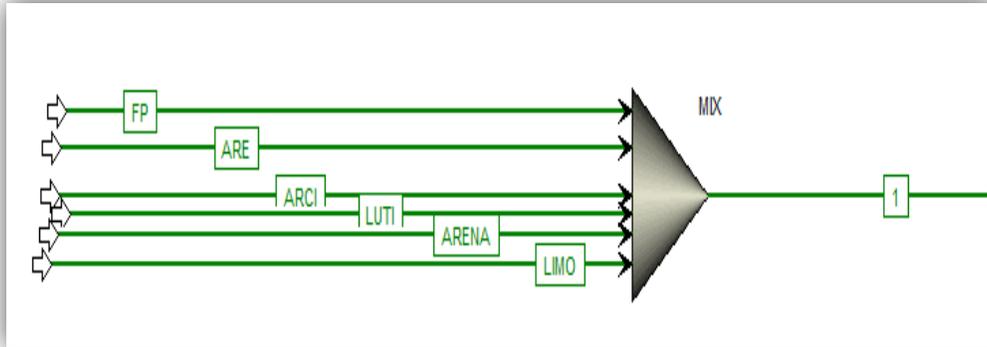
Volumen de corte por hora: 30, 77 gal / h

Tabla31. Corriente física de entrada en el tratamiento del fluido Boremax.

Componente	Especificación química	%	Flujo Gal/ h	Fracción del corte (mm)		
ARENISCA	$\text{SiO}_2 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	11	61,54	30%	70 %	
				0,125-0,25	0,25-0,5	
ARCILLOLITA	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$	41	215,39	30%	70 %	
				0,0039-0,005	0,0039-0,002	
LIMONITA	$\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n \text{H}_2\text{O}$	18	92,31	33%	33%	33%
				0.0039-0,0078	0,0078-0,5	0,5-10
LUTITA	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaO}$	18	61,54	30%	70 %	
				0,0039-0,005	0,0039-0,002	
ARENA	SiO_2	12	30,77	30%	70 %	
				0,125-0,25	0,25-0,5	

5.4.3 Sección 3 (fluido de perforación Barandril-N). La corriente de entrada al sistema de control de sólidos en el tratamiento al primer fluido de perforación se muestra en la **Figura 25:**

Figura 25.Corriente de entrada química al tratamiento 3.



- **Corriente FP del fluido de perforación Barandril-N:** Para esta corriente de entrada se tendrá en cuenta la formulación química del fluido de perforación, es decir la concentración de cada uno de los compuestos. El caudal químico de entrada de esta sección es 400 gpm de fluido de perforación (asumiendo que no existen pérdidas de fluidos en el proceso de perforación):

Tabla32.Corriente FP fluido Barandril-N.

Componente	Especificación	Flujo (lb/gal)
KBARADEF0AM ®	Aceite mineral parafinado	4,04X10.3
N- VIS®	$C_{33} H_{49} O_{29}$	0,030
N-DRIL® HT PLUS	$C_6H_{12}O_6$	0,1428
BARABUF®	MgO	0,0238
BARACARB®	$CaSO_4$	0,7142
KCL	KCL	0,25
ALDACIDE G	$C_5H_8O_2$	0,017
CARBONATO DE CALCIO	$CaCO_3$	0,76

- **Corriente de entrada física:** para la determinación de la corriente de entrada, se tendrá en cuenta el volumen total de cortes obtenidos (8048 galones en toda la sección perforada) el cual se dividió en los 14 componentes de la formación que hacen parte de la sección, cabe aclarar que los componentes se repiten por unidad, el flujo de cada componente identificado (5 en total) puede varias por su repetición por unidad.

(574,86 por componente)

La segunda sección duro 166,5 horas en ser perforada, con una profundidad de 2775 ft. Se tendrá en cuenta la suposición que le volumen de cortes obtenidos por hora son iguales.

Volumen de corte por hora: 3, 4526 gal / h

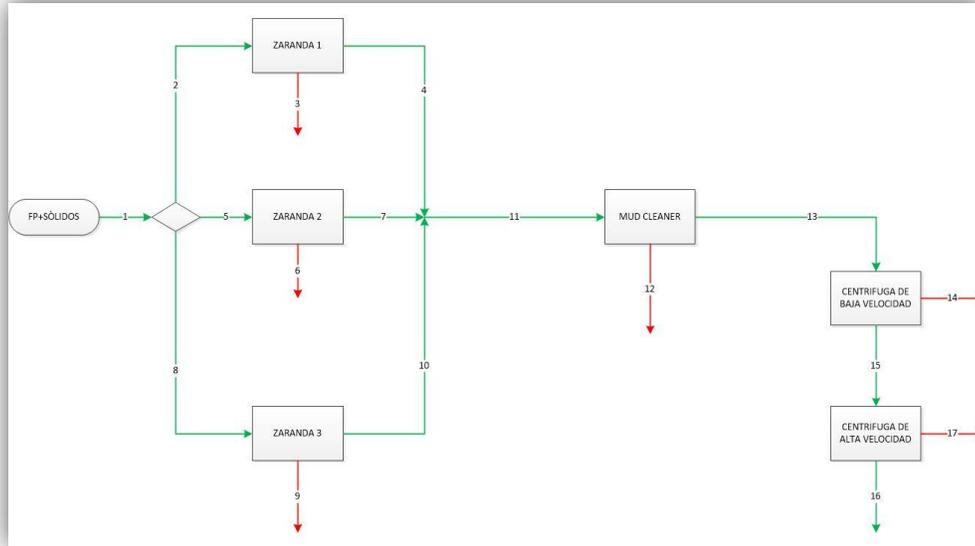
Tabla33. Corriente física de entrada.

Componente	Especificación química	%	Flujo Gal/ h	Fracción del corte (mm)	
ARENISCA	SiO ₂ ·Fe ₂ O ₃	29	13,81	50%	50 %
				0,125-0,75	0,75-1,5
ARCILLOLITA	Al ₂ O ₃ ·4SiO ₂	14	6,902	30%	70 %
				0,0039-0,005	0,0039-0,002
LIMONITA	FeO (OH) · n H ₂ O	14	6,902	50%	50%
				0,125-0,5	0,5-2,5
LUTITA	Al ₂ O ₃ ·4SiO ₂ · Fe ₂ O ₃ · CaO	21	13,81	30%	70 %
				0,0039-0,005	0,0039-0,002
ARENA	SiO ₂	22	6,902	30%	70 %
				0,25-0,5	0,5-1

5.5 BALANCE DE MASA

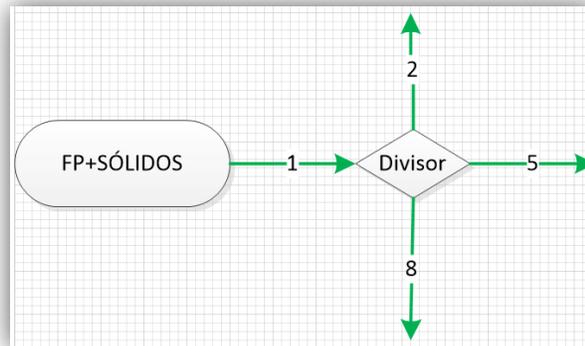
5.5.1 Balance de masa para el tratamiento del fluido spud mud. La figura 26 se muestra el diagrama de flujo donde se encuentran las unidades correspondientes del sistema para el balance de masa:

Figura 26. Distribución del balance de masa fluido spud mud.



- **Balance de masa divisor.** El divisor permite que el flujo de entrada al sistema sea dividido en partes iguales para que evitar sobrecargar las zarandas. En la figura 27 se muestran las corrientes que entran y salen del divisor.

Figura 27. Diagrama de flujo divisor



El fluido de perforación de entrada al sistema es de 800 gpm por lo tanto en la corriente de entrada se tendrá un flujo másico, el cual se muestra a continuación, desarrollando la **ecuación 17**:

Ecuación 17. Flujo másico del fluido de perforación.

$$\dot{m}_L = \dot{q} * 60 * \rho \dot{m}_L = 3,02833 \frac{m^3}{min} * 60 \frac{min}{hr} * 731,2611 \frac{kg}{m^3}$$

$$\dot{m}_L = 132870 \frac{kg}{hr}$$

La corriente de entrada de los sólidos es de 752, 647058 gal / h por lo tanto en la corriente de entrada se tendrá un flujo másico, el cual se muestra a continuación, desarrollando la **ecuación 18**:

Ecuación 18. Flujo másico de la corriente sólida.

$$\dot{m}_S = \dot{q} * \rho$$

$$\dot{m}_S = 2,8491 \frac{m^3}{hr} * 2110 \frac{kg}{m^3}$$

$$\dot{m}_S = 6012,76 \frac{kg}{hr}$$

La corriente solida de acuerdo al simulador tiene una distribución granulométrica, dentro de un rango de 0,1 a 1 mm, el simulador presenta las fracciones de cada diámetro y a partir de este se calcularon los flujos, los cuales se muestran en la siguiente tabla:

Tabla34. Distribución de la corriente sólida que entra al divisor.

Sólidos (mm)	Fracción	Flujo (kg/hr)
0,1	0,112733404	677,8389022
0,2	0,012078579	72,62559667
0,3	0,075299587	452,7583453
0,4	0,138520595	832,8910928
0,5	0,138520595	832,8910928
0,6	0,104569448	628,7509942
0,7	0,104569448	628,7509942
0,8	0,104569448	628,7509942
0,9	0,104569448	628,7509942
1	0,104569448	628,7509942

La suma de la corriente sólida y el fluido de perforación dan como resultado la corriente 1 la cual entra al divisor:

Ecuación 19. Flujo másico total que entra al divisor.

$$\dot{m}_T = \dot{m}_L * \dot{m}_S$$
$$\dot{m}_T = (132870 + 6012,76) \frac{kg}{hr}$$
$$\dot{m}_T = 138882,76 \frac{kg}{hr}$$

El divisor separa en 3 corrientes el fluido de entrada, las cuales van cada una dirigidas cada una a una zaranda de doble piso, como se observa a continuación:

Ecuación 20. División de las corrientes.

$$\dot{m}_D = \frac{\dot{m}_T}{3}$$
$$\dot{m}_D = \frac{138882,76 \frac{kg}{hr}}{3}$$
$$\dot{m}_D = 46294,25333 \frac{kg}{hr}$$

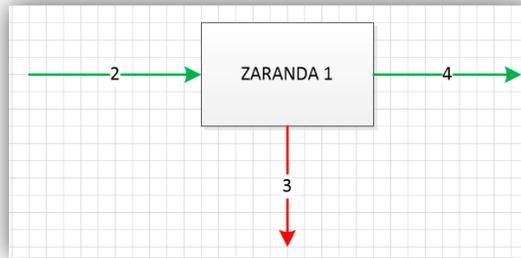
En la **tabla 35** se muestran las corrientes pertenecientes al divisor.

Tabla35. Flujos másicos provenientes del divisor.

Corriente	Flujo kg/hr
1	138882
2	46294,25333
5	46294,25333
8	46294,25333

- **Balance de masa zarandas.** La zaranda esta conformada por una corriente de entrada (2), una descarga solida (3) y una corriente liquida de flujo (4). Como se muestra en la figura 28:

Figura 28. Diagrama de flujo zarandas.



La corriente 2 que proviene del divisor es la corriente de entrada a la zaranda y su composición se muestra en la **tabla 36**:

Tabla36. Composición corriente de entrada a la zaranda.

Corriente 2		
Fluido de perforación		44290 Kg/Hr
Total de solidos		2004,253333 Kg/Hr
Total		46294,25333 Kg/Hr
Sólidos (mm)	Fracción	Flujo (kg/hr)
0,1	0,112733404	225,9463007
0,2	0,012078579	24,20853222
0,3	0,075299587	150,9194484
0,4	0,138520595	277,6303643
0,5	0,138520595	277,6303643
0,6	0,104569448	209,5836647
0,7	0,104569448	209,5836647
0,8	0,104569448	209,5836647
0,9	0,104569448	209,5836647
1	0,104569448	209,5836647

Para determinar la cantidad de solidos removidos en la zaranda se tuvo en cuenta la eficiencia de las mallas de la zaranda al separar cada uno de los diámetros de los sólidos presentes proporcionadas por el simulador, el flujo de los sólidos de entrada multiplicado por la eficiencia da como resultado la cantidad de solidos removidos como se puede ver en el desarrollo de la **ecuación 21**, los cuales son dirigidos a la corriente de descarga sólida (3):

Ecuación 21. Cantidad de solidos removidos de acuerdo a la eficiencia.

$$\dot{m}_S = \dot{m}_2 * E$$

$$\dot{m}_S = 225,9463007 \frac{kg}{hr} * 0,50849041$$

$$\dot{m}_S = 114,8915277 \frac{kg}{hr}$$

En la **tabla 37** se muestran los sólidos removidos de cada diámetro de acuerdo a la eficiencia de las mallas de la zaranda:

Tabla37. Solidos removidos de acuerdo a la eficiencia de la malla.

Sólidos(mm)	Flujo (kg/hr) Corriente 2	Eficiencia de remoción	Fracción	Flujo (kg/hr) Corriente 3
0,1	225,9463007	0,50849041	0,061198776	114,8915277
0,2	24,20853222	0,69137112	0,008915268	16,73707993
0,3	150,9194484	0,94449351	0,075927468	142,5424403
0,4	277,6303643	1	0,147884172	277,6303643
0,5	277,6303643	1	0,147884172	277,6303643
0,6	209,5836647	1	0,111638029	209,5836647
0,7	209,5836647	1	0,111638029	209,5836647
0,8	209,5836647	1	0,111638029	209,5836647
0,9	209,5836647	1	0,111638029	209,5836647
1	209,5836647	1	0,111638029	209,5836647

Para determinar las pérdidas de líquido en la zaranda, se supuso que el 0,001 del fluido de perforación eran retenidos por los sólidos más grandes, como se muestra en el desarrollo de la **ecuación 22**:

Ecuación 22. Cantidad de fluido de perforación retenido por los sólidos.

$$\dot{m}_L = \dot{m}_L * 0,001$$

$$\dot{m}_L = 44290 \frac{kg}{hr} * 0,001$$

$$\dot{m}_L = 44,29 \frac{kg}{hr}$$

En la **tabla 38** se muestra el flujo másico de la corriente de descarga solida de la zaranda.

Tabla38. Flujos másicos de la descarga solida de la zaranda.

Corriente 3	
Fluido de perforación	44,29 Kg/Hr
Total de solidos	1877,3501 Kg/Hr
Total	1921,6401 Kg/Hr

Para la determinación del flujo de la corriente 4, se realizan las diferencias entre la corriente de entrada a la zaranda (2) y la descarga solida (3), los cálculos pertinentes se muestran a continuación:

Ecuación 23. Flujo másico líquido de la corriente de salida de la zaranda.

$$\begin{aligned} \dot{m}_{L-4} &= \dot{m}_{L-2} - \dot{m}_{L-3} \\ \dot{m}_{L-4} &= (44290 - 44,29) \frac{kg}{hr} \\ \dot{m}_{L-4} &= 44245,71 \frac{kg}{hr} \end{aligned}$$

Ecuación 24. Flujo másico sólido de la corriente de salida de la zaranda

$$\begin{aligned} \dot{m}_{S-4} &= \dot{m}_{S-2} - \dot{m}_{S-3} \\ \dot{m}_{S-4} &= (2004,253333 - 1877,3501) \frac{kg}{hr} \\ \dot{m}_{S-4} &= 126,9032333 \frac{kg}{hr} \end{aligned}$$

En la **tabla 39** se muestra la composición de la corriente liquida saliente de la zaranda (4):

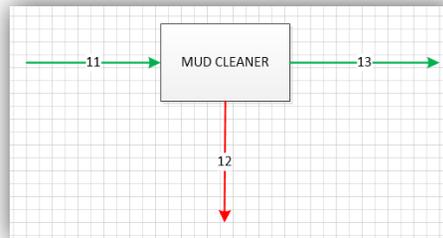
Tabla39. Composición de la corriente liquida proveniente de la zaranda.

Corriente 4		
Fluido de perforación		44245,71 Kg/Hr
Total de solidos		126,9032333 Kg/Hr
Total		44372,61323 Kg/Hr
Sólidos (mm)	Fracción	Flujo (kg/hr)
0,1	0,875113819	111,0547731
0,2	0,058875193	7,471452288
0,3	0,066010991	8,377008131

Ya que las 3 zarandas funcionan de igual manera el flujo de salida de cada una es igual al explicado anteriormente. De acuerdo al balance de masa las zarandas de doble piso se remueven alrededor del 75% de los cortes de perforación.

- **Balance de masa mud cleaner.** En la figura 29 se muestran las corrientes de entrada y salida al mud cleaner.

Figura 29. Diagrama de flujo mud cleaner.



El flujo de entrada al mud cleaner, es la suma de los 3 flujos de salida de las zarandas de doble piso. La composición de la corriente 11 se muestra en la **tabla 40:**

Tabla40.Composición corriente entrada al mud cleaner.

Corriente 4		
Fluido de perforación		132737,13 Kg/Hr
Total de solidos		380,7096998 Kg/Hr
Total		133117,8397 Kg/Hr
Sólidos (mm)	Fracción	Flujo (kg/hr)
0,1	0,875113819	333,1643192
0,2	0,058875193	22,41435686
0,3	0,066010991	25,13102439

Para determinar la cantidad de solidos removidos en el mud cleaner se tuvo en cuenta la eficiencia del mud cleaner al separar cada uno de los diámetros de los sólidos presentes proporcionadas por el simulador, el flujo de los sólidos de entrada multiplicado por la eficiencia da como resultado la cantidad de solidos removidos como se puede ver en el desarrollo de la **ecuación 21**, los cuales son dirigidos a la corriente de descarga sólida (12), los resultados se muestran en la **tabla 41**:

Tabla41. Solidos removidos de acuerdo a la eficiencia del mud cleaner.

Sólidos(mm)	Flujo (kg/hr) Corriente 11	Eficiencia de remoción	Fracción	Flujo (kg/hr) Corriente 12
0,1	333,16431	0,92007483	0,86572192	306,536106
0,2	22,414356	1	0,06330282	22,4143568
0,3	25,131024	1	0,07097525	25,1310243

Para determinar las pérdidas de líquido en el mud cleaner, se supuso que el 0,001 del fluido de perforación eran retenidos por los sólidos retirados, como se muestra en el desarrollo de la **ecuación 22**. En la **tabla 42** se muestra el flujo másico de la corriente de descarga solida del mud cleaner.

Tabla 42. Flujos másicos de la descarga solida de la zaranda.

Corriente 12	
Fluido de perforación	12344,55309 Kg/Hr
Total de solidos	354,0814879 Kg/Hr
Total	12698,63458 Kg/Hr

Para la determinación del flujo de la corriente 13, se realizan las diferencias entre la corriente de entrada al mud cleaner (11) y la descarga solida (13) utilizando la ecuación **ecuación 23** y **ecuación 24**, en la **tabla 43** se muestra la composición de la corriente liquida saliente del mud cleaner (13):

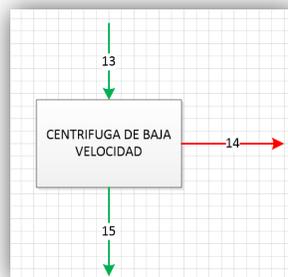
Tabla 43. Composición de la corriente liquida proveniente del mud cleaner.

Corriente 13		
Fluido de perforación	120392,5769 Kg/Hr	
Total de solidos	26,62821191 Kg/Hr	
Total	120419,2051 Kg/Hr	
Sólidos (mm)	Fraccion	Flujo (kg/hr)
0,1	1,000000023	26,62821251

En la salida del mud cleaner, la cantidad másica presente de cortes de perforación es aproximadamente unos 27 kg/h de cortes que competen a partículas muy finas que serán retiradas en el equipo continuo, las pérdidas de fluido aumentan notablemente, de 181,26 a 164,174 cum/h que es aproximadamente 75 gpm.

- **Balance de masa centrifuga baja velocidad.** En la figura 30 se muestran las corrientes de entrada y salida de la centrifuga de baja velocidad.

Figura 30. Diagrama de flujo centrifuga de baja velocidad.



La corriente de entrada a la centrifuga decantadora de baja velocidad es la corriente proveniente del mud clenaer. Para determinar la cantidad de solidos removidos por la centrifuga se tuvo en cuenta la eficiencia para separar cada uno de los diámetros de los sólidos presentes proporcionadas por el simulador, el flujo de los sólidos de entrada multiplicado por la eficiencia da como resultado la cantidad de solidos removidos como se puede ver en el desarrollo de la **ecuación 21**, los cuales son dirigidos a la corriente de descarga sólida (14), los resultados se muestran en la **tabla 44**:

Tabla44.Solidos removidos de acuerdo a la eficiencia de la centrifuga de baja velocidad.

Sólidos(mm)	Flujo (kg/hr) Corriente 13	Eficiencia de remoción	Fracción	Flujo (kg/hr) Corriente 12
0,1	26,628212	0,89615561	1	23,8630222
1	0	0	0	0

Para determinar las pérdidas de líquido en centrifuga de baja velocidad, se supuso que el 0,00002 del fluido de perforación eran retenidos por los sólidos retirados, como se muestra en el desarrollo de la **ecuación 22**. En la **tabla 45** se muestra el flujo másico de la corriente de descarga solida de la centrífuga de baja velocidad

Tabla45.Flujos másicos de la descarga solida de la centrífuga de la baja velocidad.

Corriente 14	
Fluido de perforación	2,311537477 Kg/Hr
Total de solidos	23,86302227 Kg/Hr
Total	26,17455975 Kg/Hr

Para la determinación del flujo de la corriente 15, se realizan las diferencias entre la corriente de entrada de la centrifuga de baja velocidad (13) y la descarga solida (14) utilizando la ecuación **ecuación 23** y **ecuación 24**, en la **tabla46** se muestra la composición de la corriente liquida saliente de la centrifuga de alta velocidad (15):

Tabla.46. Composición de la corriente liquida proveniente de la centrifuga de baja velocidad.

Corriente 15		
Fluido de perforación		120390,2654 Kg/Hr
Total de solidos		2,765190246 Kg/Hr
Total		120393,0306 Kg/Hr
Sólidos (mm)	Fracción	Flujo (kg/hr)
0,1	1	2,765190246
1	0	0

Proveniente de las centrifugas, la cantidad de cortes de perforación fueron removidos casi que por completo, las pérdidas totales de sistema, teniendo en cuenta las perdidas en los tanques es de un 15 % aproximadamente 120 gpm, y la humedad de los cortes que salen de la centrifuga es alrededor del 4% dando como resultado un sistema óptimo.

- **Balance de masa centrifuga alta velocidad.** En la figura 31 se muestran las corrientes de entrada y salida de la centrifuga de alta velocidad.

Figura 31. Diagrama de flujo centrifuga de alta velocidad.



La corriente de entrada a la centrifuga decantadora de alta velocidad es la corriente proveniente de la centrifuga de baja velocidad. Para determinar la cantidad de solidos removidos por la centrifuga se tuvo en cuenta la eficiencia para separar cada uno de los diámetros de los sólidos presentes proporcionadas por el simulador, el flujo de los sólidos de entrada multiplicado por la eficiencia da como resultado la cantidad de solidos removidos como se puede ver en el desarrollo de la **ecuación 21**, los cuales son dirigidos a la corriente de descarga sólida (16), los resultados se muestran en la **tabla 47**:

Tabla47. Sólidos removidos de acuerdo a la eficiencia de la centrifuga de alta velocidad.

Sólidos(mm)	Flujo (kg/hr) Corriente 15	Eficiencia de remoción	Fracción	Flujo (kg/hr) Corriente 16
0,1	2,7651902	0,99996856	1	21,0978320

Para determinar las pérdidas de líquido en centrifuga de baja velocidad, se supuso que no existe perdida de fluido. En la **tabla 48** se muestra el flujo másico de la corriente de descarga solida de la centrifuga de alta velocidad.

Tabla48. Flujos másicos de la descarga solida de la centrifuga de alta velocidad.

Corriente 16	
Fluido de perforación	120390,2653 Kg/Hr
Total de solidos	8,69265E-05 Kg/Hr
Total	120390,2654 Kg/Hr

Para la determinación del flujo de la corriente 17, se realizan las diferencias entre la corriente de entrada de la centrifuga de alta velocidad (15) y la descarga solida (16) utilizando la ecuación **ecuación 23** y **ecuación 24**, en la **tabla 49** se muestra la composición de la corriente liquida saliente de la centrifuga de alta velocidad (17):

Tabla.49. Composición de la corriente liquida proveniente de la centrifuga de alta velocidad.

Corriente 17		
Fluido de perforación	7,52439E-05 Kg/Hr	
Total de solidos	2,765103319 Kg/Hr	
Total	2,765178563 Kg/Hr	
Sólidos (mm)	Fracción	Flujo (kg/hr)
0,1	1	2,765103319

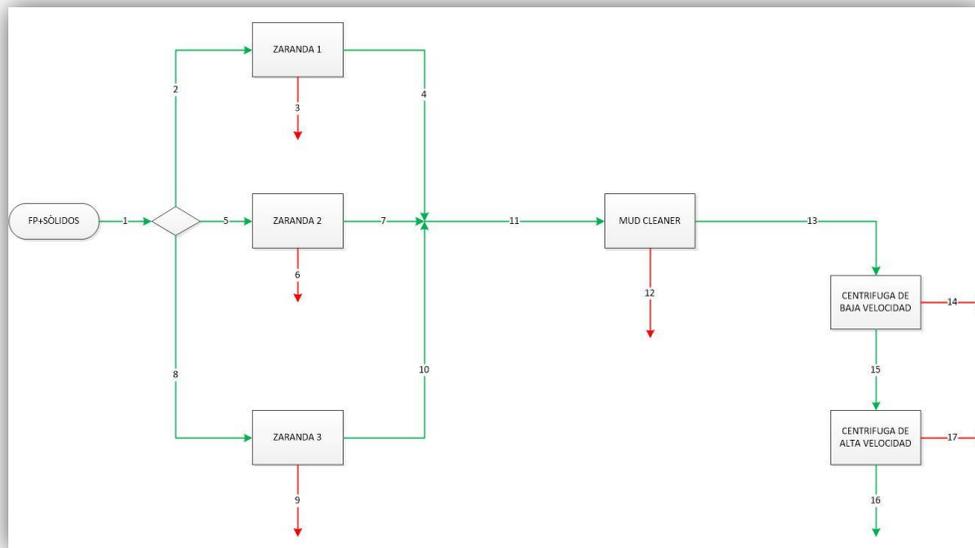
En la corriente final (17) proveniente de las centrifugas, la cantidad de cortes de perforación fueron removidos casi que por completo, las pérdidas totales de sistema, teniendo en cuenta las perdidas en los tanques es de un 15 %

aproximadamente 120 gpm, y la humedad de los cortes que salen de la centrífuga es alrededor del 4% y humedad de 0,9% luego de la unidad de floculación de acuerdo al simulador, dando como resultado un sistema que opera a mejores condiciones que el sistema actual y proporciona menores pérdidas de fluido y cortes más secos.

5.5.2 Balance de masa para el tratamiento del fluido Boremax.

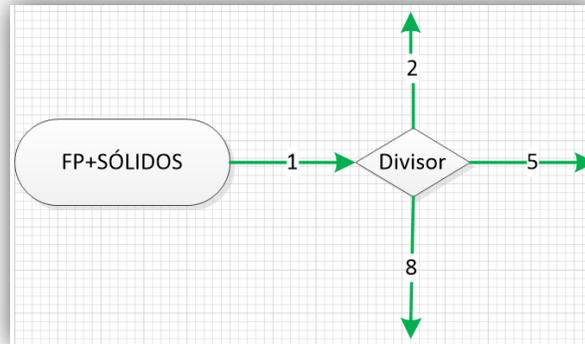
La **figura 32** se muestra el diagrama de flujo donde se encuentran las unidades correspondientes del sistema para el balance de masa.

Figura 32. Distribución del balance de masa fluido Boremax.



- **Balance de masa divisor.** El divisor permite que el flujo de entrada al sistema sea dividido en partes iguales para que la zaranda no se sobrecarguen. En la figura 33 se muestran las corrientes que entran y salen del divisor.

Figura 33. Diagrama de flujo divisor



El fluido de perforación de entrada al sistema es de 800 gpm por lo tanto en la corriente de entrada se tendrá un flujo másico, el cual se muestra a continuación, desarrollando la **ecuación 25**:

Ecuación 25. Flujo másico del fluido de perforación.

$$\dot{m}_L = \dot{q} * 60 * \rho \dot{m}_L = 3,02833 \frac{m^3}{min} * 60 \frac{min}{hr} * 968,052 \frac{kg}{m^3}$$

$$\dot{m}_L = 177042 \frac{kg}{hr}$$

Es de resaltar que la concentración de densificante se tendrá en cuenta durante el balance de masa ya que se busca recuperar la mayor cantidad posible, La corriente de entrada de los sólidos es de 30,77 gal / h por lo tanto en la corriente de entrada se tendrá un flujo másico, el cual se muestra a continuación, desarrollando la **ecuación 26**:

Ecuación 26. Flujo másico de la corriente sólida.

$$\dot{m}_S = \dot{q} * \rho$$

$$\dot{m}_S = 0,11 \frac{m^3}{hr} * 2043,4 \frac{kg}{m^3}$$

$$\dot{m}_S = 3570,40 \frac{kg}{hr}$$

La corriente solida de acuerdo al simulador tiene una distribución granulométrica, dentro de un rango de 0,003 a 10 mm, el simulador presenta las fracciones de cada diámetro y a partir de este se calcularon los flujos, los cuales se muestran en la siguiente tabla:

Tabla50. Distribución de la corriente sólida que entra al divisor.

SÓLIDOS (mm)	FRACCIÓN	FLUJO (Kg/Hr)
0,003	0,075115326	268,1722285
0,005	0,312050542	1114,064122
0,007	0,178491878	637,2409933
0,011	0,023314904	83,23747208
0,017	0,001659269	5,923820914
0,026	0,002540212	9,06891147
0,039	0,003888782	13,88349506
0,060	0,005953401	21,25447408
0,092	0,009114071	32,53850837
0,141	0,019149933	68,36794073
0,217	0,045124078	161,0992765
0,331	0,073376065	261,9628261
0,507	0,11030165	393,7923327
0,777	0,003970751	14,1761364
1,189	0,00607888	21,702453
1,821	0,009306033	33,22383962
2,787	0,014246846	50,86323299
4,267	0,021810623	77,86697617
6,532	0,033389842	119,2064105
10,000	0,051116777	182,4940492

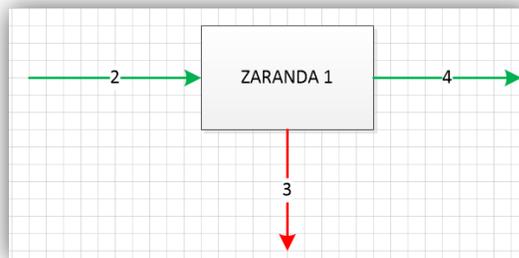
La suma de la corriente sólida y el fluido de perforación dan como resultado la corriente 1 la cual entra al divisor. El divisor separa en 3 corrientes el fluido de entrada, las cuales van cada una dirigidas cada una a una zaranda de doble piso. En la **tabla 51** se muestran las corrientes pertenecientes al divisor.

Tabla51. Flujos másicos provenientes del divisor.

Corriente	Flujo kg/hr
	Fluido de perforación+ sólidos
1	177042
	BAROID
	28355,42
2	59014
5	59014
8	59014

- **Balance de masa zarandas.** La zaranda esta conformada por una corriente de entrada (2), una descarga solida (3) y una corriente liquida de flujo (4). Como se muestra en la figura 34:

Figura 34. Diagrama de flujo zarandas.



La corriente 2 que proviene del divisor es la corriente de entrada a la zaranda y su composición se muestra en la **tabla 52**:

Tabla52. Composición corriente de entrada a la zaranda.

Corriente 2	
Fluido de perforación	44290 Kg/Hr
Baroid	28355,42kg/hr
Total de solidos	2004,253333 Kg/Hr
Total	46294,25333 Kg/Hr

Tabla 51. (Continuación).

Sólidos (mm)	Fracción	Flujo (kg/hr)
0,003	0,075115326	89,39074285
0,005	0,312050542	371,3547073
0,007	0,178491878	212,4136644
0,011	0,023314904	27,74582403
0,017	0,001659269	1,974606971
0,026	0,002540212	3,02297049
0,039	0,003888782	4,627831688
0,060	0,005953401	7,084824694
0,092	0,009114071	10,84616946
0,141	0,019149933	22,78931358
0,217	0,045124078	53,69975885
0,331	0,073376065	87,32094204
0,507	0,11030165	131,2641109
0,777	0,003970751	4,725378801
1,189	0,00607888	7,234151
1,821	0,009306033	11,07461321
2,787	0,014246846	16,954411
4,267	0,021810623	25,95565872
6,532	0,033389842	39,73547017
10,000	0,051116777	60,83134972

Para determinar la cantidad de sólidos removidos en la zaranda se tuvo en cuenta la eficiencia de las mallas de la zaranda al separar cada uno de los diámetros de los sólidos presentes proporcionadas por el simulador, el flujo de los sólidos de entrada multiplicado por la eficiencia da como resultado la cantidad de sólidos removidos como se puede ver en el desarrollo de la **ecuación 21**, los cuales son dirigidos a la corriente de descarga sólida (3), En la **tabla 53** se muestran los sólidos removidos de cada diámetro de acuerdo a la eficiencia de las mallas de la zaranda:

Tabla53. Sólidos removidos de acuerdo a la eficiencia de la malla.

Sólidos(mm)	Flujo (Kg/Hr) Corriente 2	Eficiencia de remoción	Fracción	Flujo (Kg/Hr) Corriente 3
0,003	89,3907428	0,5415867	0,05645931	48,4128428
0,005	371,354707	0,5440767	0,23562648	202,045472
0,007	212,413664	0,5479184	0,13572922	116,385367
0,011	27,7458240	0,5538700	0,01792175	15,3675798
0,017	1,97460697	0,5631486	0,00129681	1,11199726
0,026	3,02297049	0,5777553	0,00203682	1,74653734
0,039	4,62783168	0,6010938	0,00324410	2,7817612
0,060	7,08482469	0,6392458	0,00528167	4,52894462
0,092	10,8461694	0,7038448	0,00890283	7,63402087
0,141	22,7893135	0,8193156	0,02177496	18,6716410
0,217	53,6997588	1	0,06262493	53,6997588
0,331	87,3209420	1	0,10183413	87,3209420
0,507	131,264110	1	0,15308089	131,264110
0,777	4,72537880	1	0,00551076	4,72537880
1,189	7,234151	1	0,00843650	7,234151
1,821	11,0746132	1	0,01291527	11,0746132
2,787	16,954411	1	0,01977232	16,954411
4,267	25,9556587	1	0,03026962	25,9556587
6,532	39,7354701	1	0,04633971	39,7354701
	60,8313497	1	0,07094183	60,8313497
10,000	2		8	2

Para determinar las pérdidas de líquido en la zaranda, se supuso que el 0,001 del fluido de perforación eran retenidos por los sólidos más grandes, como se muestra en el desarrollo de la **ecuación 22**, En la **tabla 54** se muestra el flujo másico de la corriente de descarga solida de la zaranda.

Tabla54. Flujos másicos de la descarga solida de la zaranda.

Corriente 3	
Fluido de perforación	59,014 Kg/Hr
BAROID	28,35542 Kg/Hr
Total de solidos	857,48201 Kg/Hr
Total	916,49601 Kg/Hr

Para la determinación del flujo de la corriente 4, se realizan las diferencias entre la corriente de entrada a la zaranda (2) y la descarga solida (3), En la **tabla 55** se muestra la composición de la corriente liquida saliente de la zaranda (4):

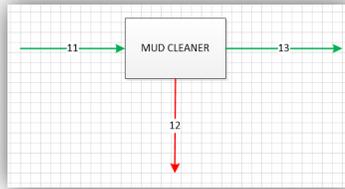
Tabla55. Composición de la corriente liquida proveniente de la zaranda.

Corriente 4		
Fluido de perforación		58954,986 Kg/Hr
Baroid		28327,06458 kg/hr
Total de solidos		332,5646567 Kg/Hr
Total		59287,55066 Kg/Hr
Sólidos (mm)	Fraccion	Flujo (Kg/Hr)
0,003	0,123217844	40,97790001
0,005	0,509101708	169,3092346
0,007	0,288750758	96,02829662
0,011	0,037220564	12,3782442
0,017	0,002593811	0,862609709
0,026	0,00383815	1,276433149
0,039	0,005551012	1,846070488
0,060	0,007685363	2,555880065
0,092	0,009658719	3,212148587
0,141	0,01238157	4,117672525

Ya que las 3 zarandas funcionan de igual manera el flujo de salida de cada una es igual al explicado anteriormente. De acuerdo al balance de masa las zarandas de doble piso se remueven alrededor del 60% de los cortes de perforación.

- **Balance de masa mud cleaner.** En la figura 35 se muestran las corrientes de entrada y salida al mud cleaner.

Figura 35. Diagrama de flujo mud cleaner.



El flujo de entrada al mud cleaner, es la suma de los 3 flujos de salida de las zarandas de doble piso. La composición de la corriente 11 se muestra en la **tabla 56**:

Tabla56. Composición corriente entrada al mud cleaner.

Corriente 11		
Fluido de perforación		176864,958 Kg/Hr
Baroid		84981,19374 kg/hr
Total de solidos		997,69397 Kg/Hr
Total		177862,652 Kg/Hr
Sólidos (mm)	Fracción	Flujo (Kg/Hr)
0,003	0,123217844	122,9337
0,005	0,509101708	507,9277038
0,007	0,288750758	288,0848899
0,011	0,037220564	37,13473259
0,017	0,002593811	2,587829127
0,026	0,00383815	3,829299447
0,039	0,005551012	5,538211464
0,060	0,007685363	7,667640195
0,092	0,009658719	9,63644576
0,141	0,01238157	12,35301757

Para determinar la cantidad de solidos removidos en el mud cleaner se tuvo en cuenta la eficiencia del mud cleaner al separar cada uno de los diámetros de los sólidos presentes proporcionadas por el simulador, el flujo de los sólidos de

entrada multiplicado por la eficiencia da como resultado la cantidad de solidos removidos como se puede ver en el desarrollo de la **ecuación 21**, los cuales son dirigidos a la corriente de descarga sólida (12), los resultados se muestran en la **tabla 57**:

Tabla57. Sólidos removidos de acuerdo a la eficiencia del mud cleaner.

Sólidos(mm)	Flujo (kg/hr) Corriente 11	Eficiencia de remoción	Fracción	Flujo (kg/hr) Corriente 12
0,003	122,9337	0,80516133	0,13306567	98,9814624
0,005	507,92770	0,80841656	0,55201297	410,617169
0,007	288,08488	0,81314771	0,31492135	234,255569
0,011	37,134732	0,82016949	0,04094454	30,4567747
0,017	2,5878291	0,83172774	0,00289353	2,15236929
0,026	3,8292994	0,85604278	0,00440683	3,27804416
0,039	5,5382114	0,92464908	0,00688428	5,12090214
0,060	7,6676401	1	0,01030798	7,66764019
0,092	9,6364457	1	0,01295475	9,63644576
0,141	12,353017	1	0,01660677	12,3530175
	57		3	7

Para determinar las pérdidas de líquido en el mud cleaner, se supuso que el 0,001 del fluido de perforación eran retenidos por los sólidos retirados, como se muestra en el desarrollo de la **ecuación 22**. En la **tabla 58** se muestra el flujo másico de la corriente de descarga solida del mud cleaner.

Tabla58.Flujos másicos de la descarga solida del mud cleaner.

Corriente 12	
Fluido de perforación	16448,44109 Kg/Hr
BAROID	7903,251018 Kg/Hr
Total de solidos	743,8542016 Kg/Hr
Total	17192,2953 Kg/Hr

Para la determinación del flujo de la corriente 13, se realizan las diferencias entre la corriente de entrada al mud cleaner (11) y la descarga solida (13) utilizando la ecuación **ecuación 23** y **ecuación 24**, en **la tabla 59** se muestra la composición de la corriente liquida saliente del mud cleaner (13):

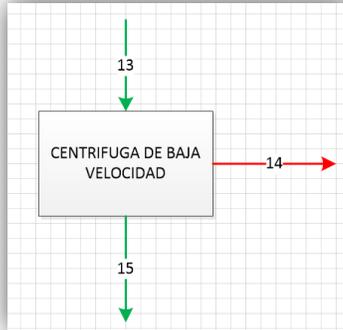
Tabla.59. Composición de la corriente liquida proveniente del mud cleaner.

Corriente 13		
Fluido de perforación		160416,5169 Kg/Hr
BAROID		77077,94272 Kg/Hr
Total de solidos		253,8397684 Kg/Hr
Total		160670,3567 Kg/Hr
Sólidos (mm)	Fracción	Flujo (Kg/Hr)
0,1	0,094359673	23,9522376
0,003	0,383354172	97,31053412
0,005	0,212060233	53,82932041
0,007	0,026307769	6,677957881
0,011	0,001715491	0,435459835
0,017	0,002171666	0,551255283
0,026	0,001643987	0,417309318
0,039	0,094359673	23,9522376

En la salida del mud cleaner, c la cantidad másica presente de cortes de perforación ha disminuido aproximadamente a 222 cum/h y las pérdidas de fluido están alrededor de 74 gpm.

- **Balance de masa centrifuga baja velocidad.** En la figura 30 se muestran las corrientes de entrada y salida de la centrifuga de baja velocidad.

Figura 36. Diagrama de flujo centrifuga de baja velocidad.



La corriente de entrada a la centrifuga decantadora de baja velocidad es la corriente proveniente del mud clenaer. Para determinar la cantidad de solidos removidos por la centrifuga se tuvo en cuenta la eficiencia para separar cada uno de los diámetros de los sólidos presentes proporcionadas por el simulador, el flujo de los sólidos de entrada multiplicado por la eficiencia da como resultado la cantidad de solidos removidos como se puede ver en el desarrollo de la **ecuación 21**, los cuales son dirigidos a la corriente de descarga sólida (14), los resultados se muestran en la **tabla 60**:

Tabla60. Solidos removidos de acuerdo a la eficiencia de la centrifuga de baja velocidad.

Sólidos(mm)	Flujo (Kg/Hr) Corriente 13	Eficiencia de remoción	Fracción	Flujo (Kg/Hr) Corriente 14
0,003	0,3833541	0,11232557	0,07686161	2,69044890
0,005	0,2120602	0,16624254	0,46215408	16,1771503
0,007	0,0263077	0,24167216	0,37164671	13,0090483
0,011	0,0017154	0,34210186	0,06526553	2,28454182
0,017	0,0021716	0,46617508	0,00579938	0,20300052
0,026	0,0016439	0,60371625	0,00950758	0,33280177
0,039	0,0943596	0,73521225	0,00876507	0,30681092

Para determinar las pérdidas de líquido en centrifuga de baja velocidad, se supuso que el 0,00002 del fluido de perforación eran retenidos por los sólidos retirados,

como se muestra en el desarrollo de la **ecuación 22**. En la **tabla 61** se muestra el flujo másico de la corriente de descarga solida de la centrífuga de baja velocidad.

Tabla61.Flujos másicos de la descarga solida de la centrífuga de la baja velocidad.

Corriente 14	
Fluido de perforación	176,4581686 Kg/ Hr
BAROID	76993,15699 Kg/ Hr
Total de solidos	35,00380267 Kg/ Hr
Total	211,4619713 Kg/ Hr

Para la determinación del flujo de la corriente 15, se realizan las diferencias entre la corriente de entrada de la centrífuga de baja velocidad (13) y la descarga solida (14) utilizando la ecuación **ecuación 23** y **ecuación 24**, en la **tabla 62** se muestra la composición de la corriente liquida saliente de la centrífuga de alta velocidad (15):

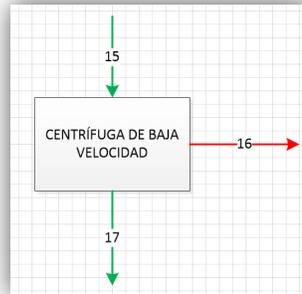
Tabla.62. Composición de la corriente liquida proveniente de la centrífuga de baja velocidad.

Corriente 15		
Fluido de perforación		160240,0587 Kg/Hr
BAROID		778,78573699 Kg/Hr
Total de solidos		218,8359658 Kg/Hr
Total		160458,8947 Kg/Hr
Sólidos (mm)	Fracción	Flujo (Kg/Hr)
0,003	0,097158566	21,26178869
0,005	0,221770909	48,53145108
0,007	0,178339721	39,02714505
0,011	0,031318552	6,853625477
0,017	0,002782914	0,609001579
0,026	0,004562346	0,998405328
0,039	0,00420604	0,920432769

La corriente saliente de la centrífuga recuperadora de barita, se puede observar la recuperación de 779 kg/h aproximadamente alrededor de 5 sacos de barita.

- **Balance de masa centrifuga alta velocidad.** En la figura 37 se muestran las corrientes de entrada y salida de la centrifuga de alta velocidad.

Figura 37. Diagrama de flujo centrifuga de alta velocidad.



La corriente de entrada a la centrifuga decantadora de alta velocidad es la corriente proveniente de la centrifuga de baja velocidad. Para determinar la cantidad de sólidos removidos por la centrifuga se tuvo en cuenta la eficiencia para separar cada uno de los diámetros de los sólidos presentes proporcionadas por el simulador, el flujo de los sólidos de entrada multiplicado por la eficiencia da como resultado la cantidad de sólidos removidos como se puede ver en el desarrollo de la **ecuación 21**, los cuales son dirigidos a la corriente de descarga sólida (16), los resultados se muestran en la **tabla 63**:

Tabla 63. Sólidos removidos de acuerdo a la eficiencia de la centrifuga de alta velocidad.

Sólidos(mm)	Flujo (Kg/Hr) Corriente 15	Eficiencia de remoción	Fracción	Flujo (Kg/Hr) Corriente 16
0,1	21,261788	0,13967539	0,09632813	18,2920399
0,003	48,531451	0,20493756	0,20319617	38,5855334
0,005	39,027145	0,29410527	0,14507672	27,5490557
0,007	6,8536254	0,40870581	0,02134101	4,05250887
0,011	0,6090015	0,542899	0,00146595	0,27837523
0,017	0,9984053	0,68104588	0,00167697	0,31844549
0,026	0,9204327	0,80125072	0,00096336	0,18293534
0,039	21,261788	0,88814436	0,09632813	18,2920399

Para determinar las pérdidas de líquido en centrifuga de baja velocidad, se supuso que no existe pérdida de fluido. En la **tabla 64** se muestra el flujo másico de la corriente de descarga solida de la centrífuga de alta velocidad.

Tabla64.Flujos másicos de la descarga solida de la centrífuga de alta velocidad.

Corriente 16	
Fluido de perforación	160102,2523 Kg/Hr
BAROID	84,71282126 Kg/Hr
Total de solidos	189,89301 Kg/Hr
Total	160292,1453 Kg/Hr

Para la determinación del flujo de la corriente 17, se realizan las diferencias entre la corriente de entrada de la centrifuga de alta velocidad (15) y la descarga solida (16) utilizando la ecuación **ecuación 23** y **ecuación 24**, en la **tabla 65** se muestra la composición de la corriente liquida saliente de la centrifuga de alta velocidad (17):

Tabla.65. Composición de la corriente liquida proveniente de la centrifuga de alta velocidad.

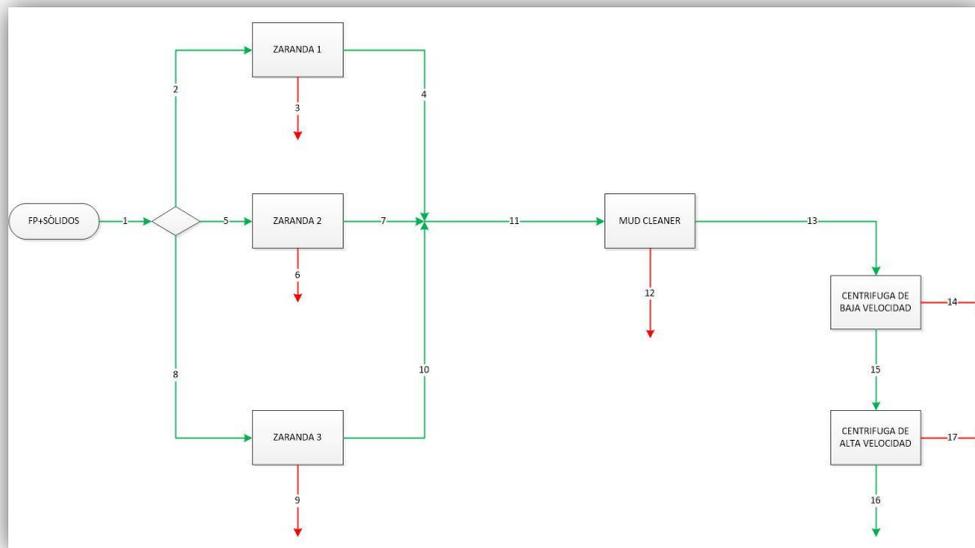
Corriente 17		
Fluido de perforación		7,52439E-05 Kg/Hr
Total de solidos		2,765103319 Kg/Hr
Total		2,765178563 Kg/Hr
Sólidos (mm)	Fracción	Flujo (Kg/Hr)
0,003	0,10260696	2,969748713
0,005	0,343638627	9,945917605
0,007	0,396576264	11,47808927
0,011	0,096780599	2,801116607
0,017	0,011423379	0,330626348
0,026	0,023493103	0,679959837
0,039	0,025481068	0,73749742

En la corriente final (17) proveniente de las centrífugas, la cantidad de cortes de perforación fueron removidos casi que por completo, las pérdidas totales de sistema, teniendo en cuenta las perdidas en los tanques es de un 15 % aproximadamente 120 gpm, y la humedad de los cortes que salen de la centrífuga es alrededor del 4% y humedad de 0,9% luego de la unidad de floculación de

acuerdo al simulador, dando como resultado un sistema que opera a mejores condiciones que el sistema actual y proporciona menores pérdidas de fluido y cortes más secos.

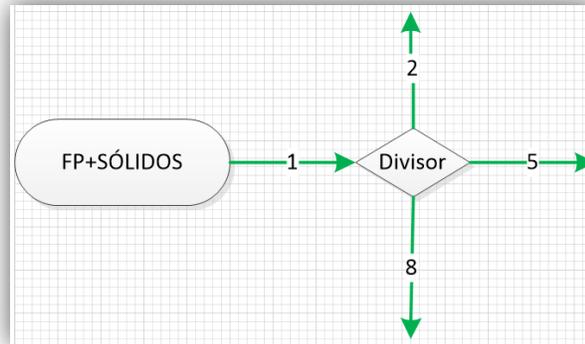
5.5.3 Balance de masa para el tratamiento de fluido Barandril-N. La figura 38 se muestra el diagrama de flujo donde se encuentran las unidades correspondientes del sistema para el balance de masa.

Figura 38. Distribución del balance de masa fluido Barandril-N.



- **Balance de masa divisor.** El divisor permite que el flujo de entrada al sistema sea dividido en partes iguales para que evitar sobrecargar las zarandas. En la figura 39 se muestran las corrientes que entran y salen del divisor.

Figura 39. Diagrama de flujo divisor.



El fluido de perforación de entrada al sistema es de 400 gpm por lo tanto en la corriente de entrada se tendrá un flujo másico, el cual se muestra a continuación, desarrollando la **ecuación 33**:

Ecuación 27. Flujo másico del fluido de perforación.

$$\dot{m}_L = \dot{q} * 60 * \rho$$

$$\dot{m}_L = 1,514 \frac{m^3}{min} * 60 \frac{min}{hr} * 928,48 \frac{kg}{m^3}$$

$$\dot{m}_L = 83981,6 \frac{kg}{hr}$$

Es de resaltar que la concentración de densificante se tendrá en cuenta durante el balance de masa ya que se busca recuperar la mayor cantidad posible, La corriente de entrada de los sólidos es de 3, 4526 gal / h por lo tanto en la corriente de entrada se tendrá un flujo másico, el cual se muestra a continuación, desarrollando la **ecuación 34**:

Ecuación 28. Flujo másico de la corriente sólida.

$$\dot{m}_S = \dot{q} * \rho \dot{m}_S = 0,1152 \frac{m^3}{hr} * 2278,41 \frac{kg}{m^3}$$

$$\dot{m}_S = 416 \frac{kg}{hr}$$

La corriente solida de acuerdo al simulador tiene una distribución granulométrica, dentro de un rango de 0,003 a 0,06 mm y de 0,144 a 2,5 mm, el simulador presenta las fracciones de cada diámetro y a partir de

Este se calculó los flujos, los cuales se muestran en la siguiente tabla:

Tabla66. Distribución de la corriente sólida que entra al divisor.

Sólidos (mm)	Fracción	Flujo (Kg/Hr)
0,003	0,06459859	26,92456307
0,004	0,133528168	55,65427337
0,006	0,279392767	116,4503465
0,144	0,006119143	2,550446422
0,206	0,019625396	8,179825635
0,294	0,034714643	14,46899386
0,420	0,059038495	24,60712676
0,601	0,074679808	31,12639466
0,858	0,093928526	39,14922178
1,225	0,090923976	37,89693114
1,750	0,072847674	30,36276495
2,500	0,070602815	29,42711209

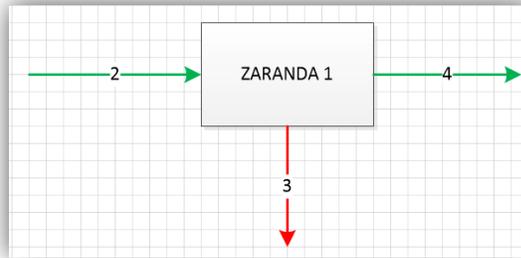
La suma de la corriente sólida y el fluido de perforación dan como resultado la corriente 1 la cual entra al divisor. El divisor separa en 3 corrientes el fluido de entrada, las cuales van cada una dirigidas cada una a una zaranda de doble piso. En la **tabla 67** se muestran las corrientes pertenecientes al divisor.

Tabla67. Flujos máxicos provenientes del divisor.

Corriente	Flujo Kg/Hr
1	84398,6
2	28132,79933
5	28132,79933
8	28132,79933

- **Balance de masa zarandas.** La zaranda esta conformada por una corriente de entrada (2), una descarga solida (3) y una corriente liquida de flujo (4). Como se muestra en la **figura 40**:

Figura 40. Diagrama de flujo zarandas.



La corriente 2 que proviene del divisor es la corriente de entrada a la zaranda y su composición se muestra en la **tabla 68**:

Tabla68. Composición corriente de entrada a la zaranda.

Corriente 2	
Fluido de perforación	27993,86667 Kg/Hr
Total de solidos	138,9326667 Kg/Hr
Total	28132,79933 Kg/Hr

Tabla 68. (Continuación)

Sólidos (mm)	Fracción	Flujo (Kg/Hr)
0,003	0,06459859	8,974854358
0,004	0,133528168	18,55142446
0,006	0,279392767	38,81678217
0,144	0,006119143	0,850148807
0,206	0,019625396	2,726608545
0,294	0,034714643	4,822997952
0,420	0,059038495	8,202375588
0,601	0,074679808	10,37546489
0,858	0,093928526	13,04974059
1,225	0,090923976	12,63231038
1,750	0,072847674	10,12092165
2,500	0,070602815	9,809037362

Para determinar la cantidad de sólidos removidos en la zaranda se tuvo en cuenta la eficiencia de las mallas de la zaranda al separar cada uno de los diámetros de los sólidos presentes proporcionadas por el simulador, el flujo de los sólidos de entrada multiplicado por la eficiencia da como resultado la cantidad de sólidos removidos, como se puede ver en el desarrollo de la **ecuación 21**, los cuales son dirigidos a la corriente de descarga sólida (3), En la **tabla 69** se muestran los sólidos removidos de cada diámetro de acuerdo a la eficiencia de las mallas de la zaranda:

Tabla69. Sólidos removidos de acuerdo a la eficiencia de la malla.

Sólidos(mm)	Flujo (Kg/Hr) Corriente 2	Eficiencia de remoción	Fracción	Flujo (Kg/Hr) Corriente 3
0,003	8,9748543	0,44335789	0,03890941	3,97907255
0,004	18,551424	0,44614028	0,08093223	8,27653773
0,006	38,816782	0,45014842	0,17086303	17,4733132
0,144	0,8501488	0,93706934	0,00779003	0,79664838

Tabla 69. (Continuación).

Sólidos(mm)	Flujo (Kg/Hr) Corriente 2	Eficiencia de remoción	Fracción	Flujo (Kg/Hr) Corriente 3
0,206	2,7266085	1	0,02666217	2,72660854
0,294	4,8229979	1	0,04716175	4,82299795
0,420	8,2023755	1	0,08020704	8,20237558
0,601	10,375464	1	0,10145662	10,3754648
0,858	13,049740	1	0,12760706	13,0497405
1,225	12,632310	1	0,12352522	12,6323103
1,750	10,120921	1	0,09896757	10,1209216
2,500	9,8090373	1	0,09591780	9,80903736

Para determinar las pérdidas de líquido en la zaranda, se supuso que el 0,001 del fluido de perforación eran retenidos por los sólidos más grandes, como se muestra en el desarrollo de la **ecuación 22**, En la **tabla 70** se muestra el flujo másico de la corriente de descarga solida de la zaranda.

Tabla70. Flujos másicos de la descarga solida de la zaranda.

Corriente 3	
Fluido de perforación	27,99386667 Kg/Hr
Total de solidos	102,2650288 Kg/Hr
Total	130,2588955 Kg/Hr

Para la determinación del flujo de la corriente 4, se realizan las diferencias entre la corriente de entrada a la zaranda (2) y la descarga solida (3), En la **tabla 71** se muestra la composición de la corriente liquida saliente de la zaranda (4):

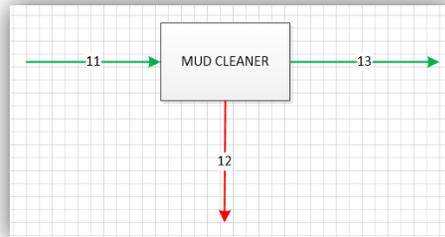
Tabla71. Composición de la corriente liquida proveniente de la zaranda.

Corriente 4		
Fluido de perforación		27965,8728 Kg/ Hr
Total de solidos		36,66763782 Kg/ Hr
Total		28002,54044 Kg/ Hr
Sólidos (mm)	Fraccion	Flujo (Kg/Hr)
0,003	0,136244986	4,995781798
0,004	0,280216761	10,27488672
0,006	0,582079191	21,34346895
0,144	0,001459064	0,053500424

Ya que las 3 zarandas funcionan de igual manera el flujo de salida de cada una es igual al explicado anteriormente. En las zarandas de doble piso se remueven alrededor del 85% de los cortes de perforación.

- **Balance de masa mud cleaner.** En la **figura 41** se muestran las corrientes de entrada y salida al mud cleaner.

Figura 41. Diagrama de flujo mud cleaner.



El flujo de entrada al mud cleaner, es la suma de los 3 flujos de salida de las zarandas de doble piso. La composición de la corriente 11 se muestra en la **tabla 72**:

Tabla72. Composición corriente entrada al mud cleaner.

Corriente 11		
Fluido de perforación		83897,6184 Kg/Hr
Total de solidos		110,0029135 Kg/Hr
Total		84007,62131 Kg/Hr
Sólidos (mm)	Fracción	Flujo (Kg/Hr)
0,003	0,136244986	14,9873454
0,004	0,280216761	30,82466016
0,006	0,582079191	64,03040686
0,144	0,001459064	0,160501271

Para determinar la cantidad de solidos removidos en el mud cleaner se tuvo en cuenta la eficiencia del mud cleaner al separar cada uno de los diámetros de los sólidos presentes proporcionadas por el simulador, el flujo de los sólidos de entrada multiplicado por la eficiencia da como resultado la cantidad de solidos removidos como se puede ver en el desarrollo de la **ecuación 21**, los cuales son dirigidos a la corriente de descarga sólida (12), los resultados se muestran en la **tabla 73**:

Tabla73. Solidos removidos de acuerdo a la eficiencia del mud cleaner.

Sólidos(mm)	Flujo (Kg/Hr) Corriente 11	Eficiencia de remoción	Fracción	Flujo (Kg/Hr) Corriente 12
0,003	14,987345	0,83332364	0,13551959	12,4893092
0,004	30,824660	0,83585605	0,27957186	25,7649787
0,006	64,030406	0,83934976	0,58316696	53,7439068
0,144	0,1605012	1	0,00174157	0,16050127

Para determinar las pérdidas de líquido en el mud cleaner, se supuso que el 0,128 del fluido de perforación eran retenidos por los sólidos retirados, como se muestra

en el desarrollo de la **ecuación 22**. En la **tabla 74** se muestra el flujo másico de la corriente de descarga solida del mud cleaner.

Tabla74.Flujos másicos de la descarga solida del mud cleaner.

Corriente 12	
Fluido de perforación	10738,89516 Kg/Hr
Total de solidos	92,15869618 Kg/Hr
Total	10831,05385 Kg/Hr

Para la determinación del flujo de la corriente 13, se realizan las diferencias entre la corriente de entrada al mud cleaner (11) y la descarga solida (13) utilizando la ecuación **ecuación 23** y **ecuación 24**, en la **tabla 75** se muestra la composición de la corriente liquida saliente del mud cleaner (13):

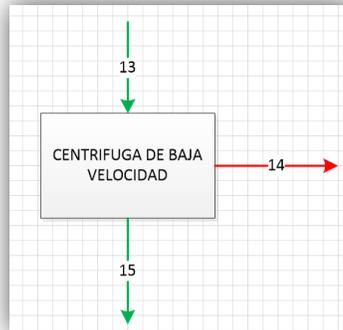
Tabla.75. Composición de la corriente liquida proveniente del mud cleaner.

Corriente 13		
Fluido de perforación		73158,72324 Kg/Hr
Total de solidos		17,84421728 Kg/Hr
Total		73176,56746 Kg/Hr
Sólidos (mm)	Fracción	Flujo (Kg/Hr)
0,003	0,139991353	2,498036121
0,004	0,2835474	5,059681414
0,006	0,57646126	10,28649997

En la salida del mud cleaner. La cantidad másica presente de cortes de perforación disminuyo a 18 kg/h, las pérdidas de fluido, aproximadamente 53 gpm.

- **Balance de masa centrifuga baja velocidad.** En la figura 30 se muestran las corrientes de entrada y salida de la centrifuga de baja velocidad.

Figura 42. Diagrama de flujo centrifuga de baja velocidad.



La corriente de entrada a la centrifuga decantadora de baja velocidad es la corriente proveniente del mud clenaer. Para determinar la cantidad de solidos removidos por la centrifuga se tuvo en cuenta la eficiencia para separar cada uno de los diámetros de los sólidos presentes proporcionadas por el simulador, el flujo de los sólidos de entrada multiplicado por la eficiencia da como resultado la cantidad de solidos removidos como se puede ver en el desarrollo de la **ecuación 21**, los cuales son dirigidos a la corriente de descarga sólida (14), los resultados se muestran en la **tabla 76**:

Tabla76.Solidos removidos de acuerdo a la eficiencia de la centrifuga de baja velocidad.

Sólidos(mm)	Flujo (Kg/Hr) Corriente 13	Eficiencia de remoción	Fracción	Flujo (Kg/Hr) Corriente 14
0,003	2,4980361	0,18261483	0,02591585	0,45617845
0,004	5,0596814	0,24962163	0,07175234	1,26300594
0,006	10,286499	0,33501468	0,19577722	3,44612857

Para determinar las pérdidas de líquido en centrifuga de baja velocidad, se supuso que el 0,00017 del fluido de perforación eran retenidos por los sólidos retirados, como se muestra en el desarrollo de la **ecuación 22**. En la **tabla 77** se muestra el flujo másico de la corriente de descarga solida de la centrifuga de baja velocidad.

Tabla77.Flujos máxicos de la descarga solida de la centrífuga de la baja velocidad.

Corriente 14	
Fluido de perforación	12,43698295 Kg/ Hr
Total de solidos	5,165312978 Kg/ Hr
Total	17,60229593 Kg/ Hr

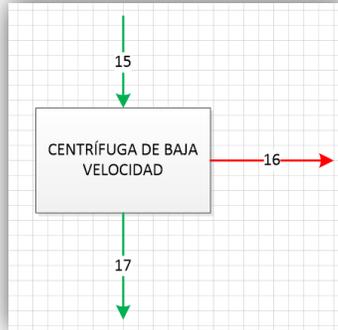
Para la determinación del flujo de la corriente 15, se realizan las diferencias entre la corriente de entrada de la centrifuga de baja velocidad (13) y la descarga solida (14) utilizando la ecuación **ecuación 23** y **ecuación 24**, en la **tabla 78** se muestra la composición de la corriente liquida saliente de la centrifuga de alta velocidad (15):

Tabla78. Composición de la corriente liquida proveniente de la centrifuga de baja velocidad.

Corriente 15		
Fluido de perforación		73146,28626 Kg/Hr
Total de solidos		12,67890453 Kg/Hr
Total		73158,96517 Kg/Hr
Sólidos (mm)	Fracción	Flujo (Kg/Hr)
0,003	0,161043697	2,041857665
0,004	0,299448226	3,796675472
0,006	0,539508076	6,840371394

- **Balance de masa centrifuga alta velocidad.** En la figura 43 se muestran las corrientes de entrada y salida de la centrifuga de alta velocidad.

Figura 43. Diagrama de flujo centrifuga de alta velocidad.



La corriente de entrada a la centrifuga decantadora de alta velocidad es la corriente proveniente de la centrifuga de baja velocidad. Para determinar la cantidad de sólidos removidos por la centrifuga se tuvo en cuenta la eficiencia para separar cada uno de los diámetros de los sólidos presentes proporcionadas por el simulador, el flujo de los sólidos de entrada multiplicado por la eficiencia da como resultado la cantidad de sólidos removidos como se puede ver en el desarrollo de la **ecuación 21**, los cuales son dirigidos a la corriente de descarga sólida (16), los resultados se muestran en la **tabla 79**.

Tabla78.Sólidos removidos de acuerdo a la eficiencia de la centrifuga de alta velocidad.

Sólidos(mm)	Flujo (kg/hr) Corriente 15	Eficiencia de remoción	Fracción	Flujo (Kg/Hr) Corriente 16
0,003	2,0418576	0,22476558	0,19028175	1,58291833
0,004	3,7966754	0,30381035	0,31773837	2,64320613
0,006	6,8403713	0,40168618	0,49197987	4,09268870

Para determinar las pérdidas de líquido en centrifuga de baja velocidad, se supuso que no existe pérdida de fluido. En la **tabla 80** se muestra el flujo másico de la corriente de descarga sólida de la centrifuga de alta velocidad.

Tabla79.Flujos máxicos de la descarga solida de la centrífuga de alta velocidad.

Corriente 16	
Fluido de perforación	73138,24017 Kg/Hr
Total de solidos	8,318813179 Kg/Hr
Total	73146,55898 Kg/Hr

Para la determinación del flujo de la corriente 17, se realizan las diferencias entre la corriente de entrada de la centrífuga de alta velocidad (15) y la descarga solida (16) utilizando la ecuación **ecuación 23** y **ecuación 24**, en la **tabla 81** se muestra la composición de la corriente liquida saliente de la centrífuga de alta velocidad (17):

Tabla81. Composición de la corriente liquida proveniente de la centrífuga de alta velocidad.

Corriente 17		
Fluido de perforación		8,046091489 Kg/Hr
Total de solidos		4,360091352 Kg/Hr
Total		12,40618284 Kg/Hr
Sólidos (mm)	Fracción	Flujo (Kg/Hr)
0,003	0,105259108	0,458939328
0,004	0,264551644	1,153469334
0,006	0,630189248	2,747682689

En la corriente final (17), proveniente de las centrífugas, la cantidad de cortes de perforación fueron removidos fue alrededor de un 90%, las pérdidas de fluido son de 60 gpm teniendo en cuenta las perdidas en los tanques, La humedad resultante de los cortes obtenidos en la última centrífuga es del 4% y humedad de 0,9% luego de la unidad de floculación de acuerdo al simulador, dando como resultado un sistema que opera a mejores condiciones que el sistema actual y proporciona menores perdidas de fluido y cortes más secos.

5.6 CONSUMO ENERGÉTICO DEL SISTEMA PROPUESTO

De acuerdo a los catálogos de los equipos se evaluaron los consumos energéticos del sistema propuesto en comparación al sistema que se utilizó en la perforación del pozo A del Campo Castilla de Ecopetrol S.A. en las **tablas 82 y 83**, se observan dichos consumos:

Tabla80. Consumo energético del sistema utilizado en el pozo A.

Equipo	Gasto	N° de Equipos	Gasto total
Zaranda	3.44 Kw	5	17.2 kw
Bombas centrifugas	45 Kw	2	90 Kw
Centrifuga de baja velocidad	37 Kw	1	37 Kw
Centrifuga de Alta velocidad	90Kw	1	90 Kw
Total			232.2 Kw

Los gastos energéticos de cada equipo se están dados por la cantidad de motores presentes en cada uno.

Tabla81. Consumo energético del sistema propuesto.

Equipo	Gasto	N° de Equipos	Gasto total
Zaranda	3.72 Kw	3	11.16 Kw
Mud Cleaner	3.44 Kw	1	3.44 Kw
Bombas centrifugas	45 Kw	2	90 Kw
Centrifuga de baja velocidad	37 Kw	1	37 Kw
Centrifuga de Alta velocidad	90 Kw	1	90 Kw
Total			231.6 Kw

De acuerdo a las tablas anteriores se puede concluir que el consumo energético de ambos sistemas es relativamente igual, lo que hace que la implementación del sistema propuesto no genere aumentos en los gastos energéticos; Cabe resaltar que el mud cleaner presenta un consumo energético mayor en el sistema propuesto, pero al disminuir la cantidad de zarandas se ve compensado el gasto.

5.7 DISPOSICIÓN DE LOS CORTES DE PERFORACIÓN

Luego de la separación de las fases y la recuperación del fluido de perforación, es necesario determinar la disposición final de las corrientes sólidas, las cuales son reunidas en una piscina dirigidas a una unidad de floculación, para terminar de

retirar la humedad de los cortes, cabe aclarar que si el sistema de control de sólidos está funcionando eficientemente el porcentaje de humedad con el cual se dirigen a la unidad de floculación es mínimo, haciendo el paso por esta unidad más corto y más eficiente.

Como se mencionaba anteriormente en el marco teórico existen varias formas de disposición final de los volúmenes de residuos sólidos (cortes de perforación), las nuevas tecnologías han permitido utilizar estos residuos para la fabricación de fertilizantes orgánicos, por consiguiente se propone acondicionar estos residuos por medio de descomposición aerobia de materiales orgánicos a temperatura controlada y presencia de microorganismos, con el fin de obtener un fertilizante orgánico, que cumpla con los requisitos de la normatividad colombiana.

Para asegurar que la forma de disposición para estos residuos es adecuada, se tomara como referencia el trabajo de grado desarrollado en la Fundación Universidad América, realizado por Andrés Espinoza, y Karen Quiroga titulado “desarrollo de un proceso para el acondicionamiento de los cortes de perforación como fertilizante de un campo Petrolero”, El estudio del acondicionamiento de estos cortes se llevó a cabo de forma experimental, realizando la formulación de 3 fertilizantes definidos de la siguiente manera, (T1=50% corte, 50% suelo. T2: 100% corte y T3= 100% suelo), los cuales tuvieron variables controladas como temperatura, pH, humedad, color y textura. Además, determinaron el contenido de potasio (K), nitrógeno (N), fósforo (P), humedad con el fin de cuantificar la calidad del fertilizante, para verificar su funcionalidad se evaluó el efecto de fertilizante sobre el cultivo de curuba.

Como conclusión, determinan que en general los resultados del proceso de acondicionamiento de los cortes de perforación indican, que el contenido de NPK cumplen con los requisitos mínimos exigibles para ser considerado como fertilizante orgánico, por consiguiente se concluye que los mejores resultados se encuentran contemplados para los tratamientos T1, y T2, aquellos donde su preparación contenía cortes de perforación en un 50% y 100%, del mismo modo demuestran factibilidad de la producción de fertilizantes de buena calidad utilizando estos residuos de perforación.

- **Fase experimental:** el desarrollo de la experimentación por parte de Espinoza y Quiroga se realizó de la siguiente manera: Realizan un secado al aire de la muestra por 20-25 días, protegiendo de la lluvia y el sol directo, luego en las muestras que poseían tierra y corte buscando una homogenización. Posteriormente agregaron los 5 componentes necesarios para formar el bocachi, los cuales fueron melaza agua y levadura, realizando una mezcla manual de todos los componentes además buscando obtener una humedad de 50 al 60%, cabe aclarar que todos estos componentes tienen un proceso de pre- tratamiento como moliendas y tamizado para optimizar la mezcla, la cual

por último es mezclada con cal viva, salvado y cascarilla. Por último, se dejan que le proceso del abono se lleve a cabo teniendo en cuenta las variables de temperatura, color, humedad, textura y pH⁹³. A continuación, se muestra la **Tabla 84** donde se encuentran los resultados de las 3 muestras y sus composiciones pertinentes:

Tabla82. Resultados reportados por Espinoza y Quiroga.

Muestra #	Composición	%K	%P	%N	% Humedad
1	50% corte y 50% tierra	1,34	1,32	1,89	1,1
2	100% corte	1,02	1,06	2,0	9,1
3	100% tierra	1,09	1,40	1,09	8,9

Fuente: ESPINOZA, Andrés y QUIROGA, Karen. Desarrollo de un proceso para el acondicionamiento de los cortes de perforación como fertilizante de un campo petrolero. Bogotá. 2013. p.91.

Como se muestra en la **Tabla 84**, las 3 muestras presentan una proporción cercana a sus variables NPK y a su porcentaje de humedad, la muestra 1 muestra mejor tratamiento respecto al potasio permitiendo que una planta con este abono presente mejor proceso metabólico a comparación de las otras muestras, la muestra 3 muestra mejor contenido de nitrógeno conteniendo así beneficios para la respiración celular.

Como evidencia del comportamiento del bocachi, se realizaron experimentos en cultivos de curuba para ver su comportamiento, se evidencia en los resultados presentados que, para los tres abonos, monitoreados durante 3 semanas las plantas tuvieron un crecimiento normal, aunque limitado ya que el crecimiento de la planta seleccionada es demorado. Para el trabajo de grado propuesto es pertinente aclarar que el proceso final de acondicionamiento de los cortes, es beneficioso, para la muestra 2 donde es 100% corte su comportamiento es igual a las de las otras 2 muestras en el proceso de aplicación, económicamente hablando es una medida viable ya que el precio de kilogramo tratado de corte es de 996 aproximadamente, el cual está entre el rango reportado para un tratamiento convencional⁹⁴.

⁹³Ibid., p.77.

⁹⁴ ESPINOZA, Andrés y QUIROGA, Karen. Desarrollo de un proceso para el acondicionamiento de los cortes de perforación como fertilizante de un campo petrolero. Bogotá. 2013. p.105.

6. ESTADO ACTUAL DE COSTOS

En el siguiente capítulo se entrará a determinar la estructura actual de costos, comparando el sistema de control de sólidos convencional que se manejó en el Campo Castilla para perforar el pozo A y el sistema propuesto.

Esto permitirá realizar la comparación de costos entre dos sistemas, para llegar a identificar ventajas y desventajas del sistema propuesto a comparación del convencional, determinando si su implementación reducirá costos de operación sin descuidar la separación correcta de los cortes industriales de perforación del lodo de perforación.

Es de importancia analizar la comparación de costos entre los sistemas, por esto se muestra las ventajas derivadas de la investigación.

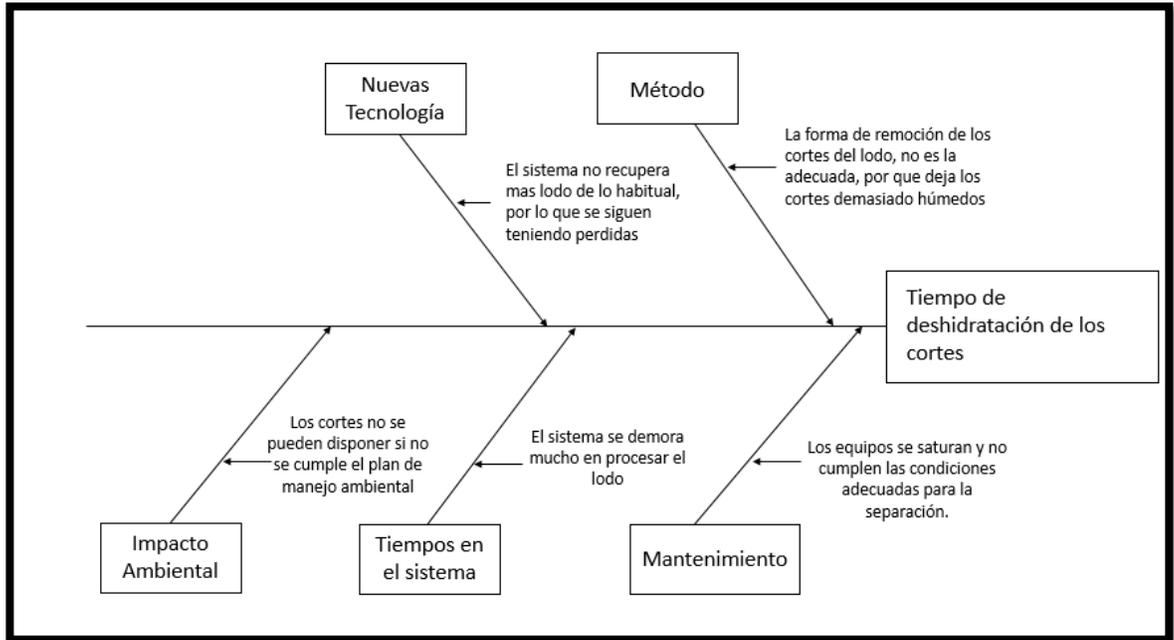
Para determinar una adecuada estructura de costos, se debe diferenciar dos conceptos fundamentales, costos y gasto. Siendo costo “la inversión de dinero que una empresa hace, con el fin de producir un bien, comercializar un producto o prestar un servicio”⁹⁵ y gasto “como la salida de dinero que realiza una empresa, o persona natural, con el objetivo de administrar adecuadamente un proceso productivo o un negocio”⁹⁶.

Para plantear la estructura actual de costos, se realiza un diagrama causa/efecto o diagrama de Ishikawa, que determine las causas que afectan al sistema de control de sólidos y posibles impactos.

⁹⁵ SOLORZANO, Manuel. Los costos y los gastos: definición y clasificación. Bogotá.2016. p.3

⁹⁶ Ibid. p.26.

Figura 44. Diagrama de Ishikawa para el sistema de control de sólidos.



De acuerdo a la **Figura 38** se determina cuál sistema tiene mejor operación en cuanto a los tiempos de deshidratación de los cortes dando como resultado el**Cuadro 24**.

Cuadro 24. Comparación entre los sistemas.

Variable	Sistema utilizado en el pozo a	Sistema propuesto
Mantenimiento	Se debe hacer una revisión constante para su funcionamiento	Se debe hacer una revisión constante para su funcionamiento
Método	El porcentaje de humedad de estos cortes es alto (1.11%)	El porcentaje de humedad es del 4%
Tiempos en el sistema	El lodo se demora más tiempo en ser tratado por lo que tiene más equipos en su distribución	El lodo se demora menos tiempo en ser tratado, por lo que tiene más equipos integrados, como el mud cleaner y la zaranda de doble piso.

Cuadro 24. (Continuación).

Variable	Sistema utilizado en el pozo a	Sistema propuesto
Nuevas tecnologías	Sistema convencional para el control de sólidos.	Se implementa un mud cleaner que permite secar más secos los cortes de perforación, por la zaranda de malla fina.
Impacto ambiental (producción de lixiviados)	Los cortes tienen un proceso de deshidratación posterior al sistema de control de sólidos.	Los cortes no necesitan tiempo de deshidratación.

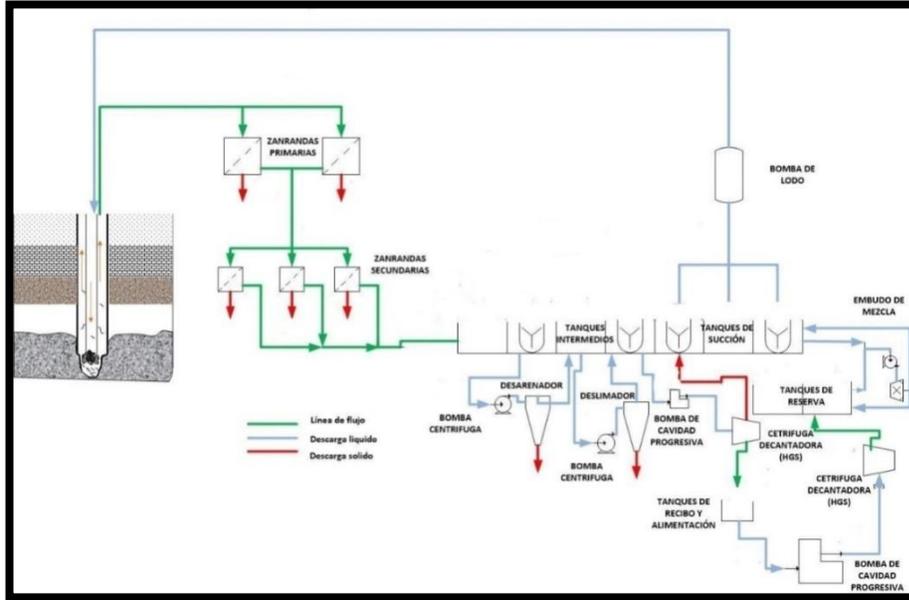
El sistema adecuado para una mejor recuperación de fluido en los cortes y menores tiempos de deshidratación de ellos, fue el propuesto, ya que este método nos permite recuperar mayor lodo de los cortes, dejándolos con una humedad del 1% antes de la unidad de dewatering. El tiempo que se demora el lodo en el sistema propuesto es menor que el del sistema utilizado para pozo A, ya que tiene equipos integrados que elimina tiempo de retención del fluido en tanques.

Una vez se conoce las variables de cada uno de los sistemas de control de sólidos, se describe cada sistema y sus posibles costos generados.

6.1 SISTEMA DE CONTROL DE SÓLIDOS UTILIZADO EN EL POZO A

Como se menciona en el capítulo 1 de la investigación, el sistema de control de sólidos que se utilizó en Castilla para la perforación del pozo A, conto con los siguientes componentes; dos zarandas primarias, que ayudan a minimizar el contenido de cortes en el lodo, para que cuando el lodo pase por el siguiente equipo no se sature y demore la operación, seguido de tres zarandas secundarias, que retiran los cortes con un tamaño mayor al de la arena, un desarenador de 12" con 2 conos, para retirar las arenas , un desarenador de 4" con 12 conos para retirar las arcillas y dos centrífugas que retire los sólidos de tamaño menor al de las arcillas, en cuanto a los equipos adicionales que se utilizan en el proceso están; cuatro bombas centrífugas, para darle potencia al sistema, como se muestra en la **Figura 39**. De esta manera el sistema logro remover los cortes de perforación con un porcentaje de humedad de 1.11%, después de la unidad de dewatering. Durante la operación se debe hacer revisiones de las cuatro bombas, las cinco zarandas y el cambio de mallas (tres cambios por cada sección perforada) a cargo de dos personas asignadas.

Figura 45. Sistema de control de sólidos utilizado en el pozo A.



Los costos generados en la operación para la implementación del sistema se muestran en la **Tabla 85**. Las cotizaciones de acuerdo a cada equipo se encuentran en los anexos.

Tabla 83. Costos generados del sistema de control de sólidos utilizado en pozo A.

Sistema de control de sólidos utilizado			
Actividad/equipo	Costo unidad	Cantidad	Costo total
Zarandas Primarias	USD 17,188	2	USD 34,376
Malla de la Zaranda	USD 90	18	USD 1,620
Zarandas secundarias	USD 17,188	3	USD 51,564
Mallas de Zaranda	USD 90	27	USD 2,430
Desarenador	USD 5,000	1	USD 5,000
Desarcillador	USD 5,313	1	USD 5,313
Centrífuga	USD 62,500	2	USD 123,000
Bomba centrífuga	USD 3,906	4	USD 15,624
Mantenimiento	USD 5,500	1	USD 5,500
Personal	USD 50	2	USD 100
Costos Totales			USD 244,527

6.2 SISTEMA DE CONTROL DE SÓLIDOS PROPUESTO

Como se menciona en el capítulo 4 de la investigación, el sistema de control de sólidos que se planteó conto con los siguientes componentes; tres zarandas de doble piso, en la malla superior ayuda aligerar el contenido de cortes del lodo y en la malla inferior retira los cortes de tamaño mayor a de las arenas, un mud cleaner, este equipo integrado cuenta con, un desarenador de 12" con 2 conos, un desarcillador de 4" con 12 conos y una zaranda de malla fina, este equipo permite remover las arenas y las arcillas que se encuentren en el lodo y cuenta con una zaranda de malla fina , para lograr un mayor secado de los cortes de perforación, por último dos centrífugas, para retirar los sólidos de tamaño menor a de las arcillas. En cuanto a los equipos secundarios encontramos cuatro bombas centrífugas, que generan la energía al sistema, como se muestra en la **figura 40**. De esta es sistema logra remover los cortes de perforación de una manera más seca, con un porcentaje de humedad del 4%. Durante la operación se asumen una revisión de las cuatro bombas, las cuatro zarandas y el cambio de mallas (tres por cada sección perforada).

Figura 46. Sistema de control de sólidos propuesto

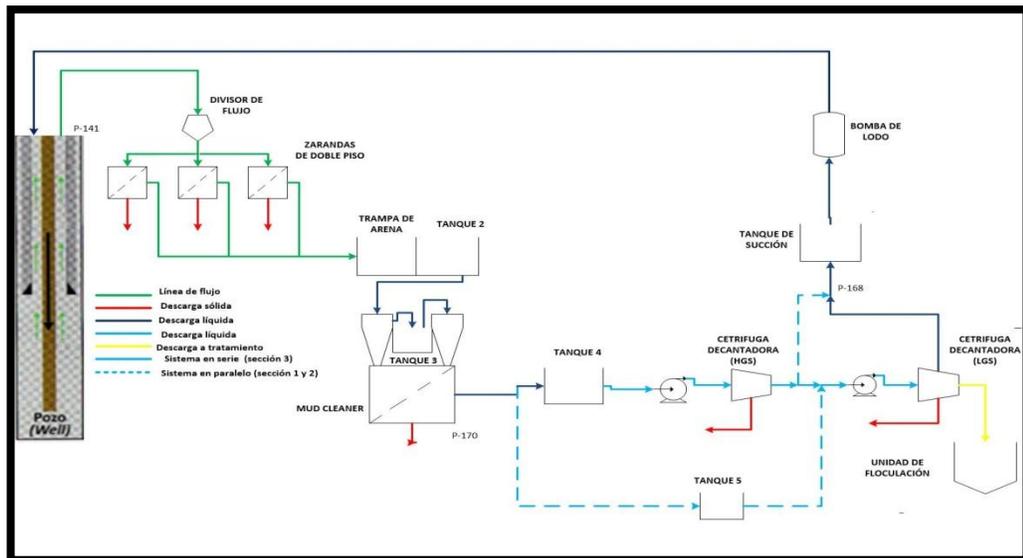


Tabla 84. Costos generados del sistema de control de sólidos propuesto

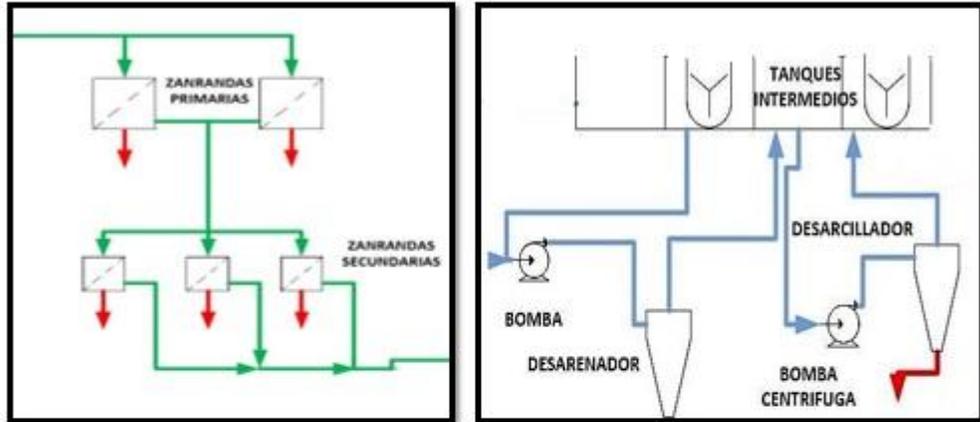
Sistema de control de sólidos propuesto			
Actividad/equipo	Costo unidad	Cantidad	Costo total
Zaranda de Doble piso	USD 20,313	3	USD 60,939
Malla de la Zaranda	USD 90	63	USD 5,670
Mud cleaner	USD 25,000	1	USD 25,000
Centrífuga	USD 62,500	2	USD 123,000
Bombas centrífugas	USD 3,906	4	USD 15,624
Mantenimiento	USD 3,833	1	USD 3,833
Personal	USD 50	2	USD 100
Costo Total			USD 234,166

6.3 DIFERENCIA ENTRE LOS SISTEMAS

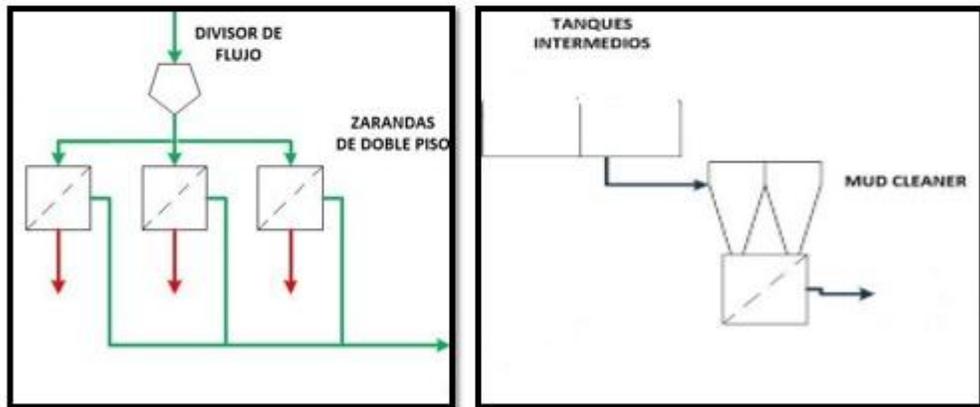
Como se muestra en la **Figura 41**, la diferencia entre los dos sistemas, se encuentra en los equipos primarios de separación, el sistema propuesto presenta tres zarandas de doble piso y el sistema utilizado presenta dos zarandas primarias y tres zarandas secundarias, para cumplir la primera separación de los cortes. En los equipos secundarios de separación, el sistema propuesto presenta un mud cleaner y en el sistema utilizado presenta un desarenador y un desarcillador para lograr la separación de los sólidos con tamaño de arcilla.

Figura 47.Diferencia entre los sistemas.

Sistema utilizado en el pozo A



Sistema propuesto



Como se muestran en la **Figura 29**, el sistema utilizado cuenta con cinco zarandas sencillas para la sección primaria de separación, en cambio el sistema propuesto cuenta con tres zarandas de doble piso para lograr esta función. El sistema utilizado cuenta con un desarenador y un desarcillador de forma separada, para lograr una separación de los sólidos con tamaño de arcilla, en cambio el sistema propuesto tiene un equipo integrado llamado mud cleaner que cuenta con; un desarenador, un desarcillador y una zaranda de malla fina, para lograr esta separación.

Una vez determinados los costos de los dos sistemas, se calcula la diferencia de costos para identificar cuál de los dos genera menos costos. Como se muestra en la **Tabla 87**.

Tabla85.Costos comparativos para el sistema utilizado/propuesto.

COMPARATIVOS DE LOS COSTOS TOTALES	
SISTEMA	COSTO TOTAL
Utilizado en el pozo A	USD 244,527
Propuesto en la investigación	USD 234,166
Diferencia de costos	USD 10,361

El estado actual de costos del sistema utilizado en el pozo A, identifica los costos del sistema, con el propósito de hacer una comparación y disminuir significativamente los costos, entre la implementación del sistema propuesto y el que se utilizó para el pozo A. Presenta ventajas en cuanto a la recuperación del lodo en los cortes industriales de perforación y menores tiempos de deshidratación en los cortes. El valor total actual del sistema propuesto genera un ahorro de 10,361 dólares.

El mantenimiento de los dos sistemas de control de sólidos, se realizan después de cada operación de perforación y durante la operación se asumen revisiones constantes a las zarandas y las bombas centrífugas que se encuentran en el sistema. El sistema utilizado para el pozo A, los mantenimientos se hace después de la perforación como en el sistema propuesto, por lo tanto, esta variable no es un factor para la selección de un sistema.

No se encuentran impactos ambientales en los sistemas, porque para poder implementar cualquier sistema debe cumplir con el plan de manejo ambiental que se establece en el pozo, como se menciona el marco legal con el decreto 838, que establece como debe operar un sistema para la disposición final de residuos de perforación y el decreto 4741, que establece como se debe realizar la gestión y manejo de los residuos. De no ser cumplido el plan de manejo ambiental establecido, se sancionará la entidad con un monto de 500 salarios mínimos legales vigentes.

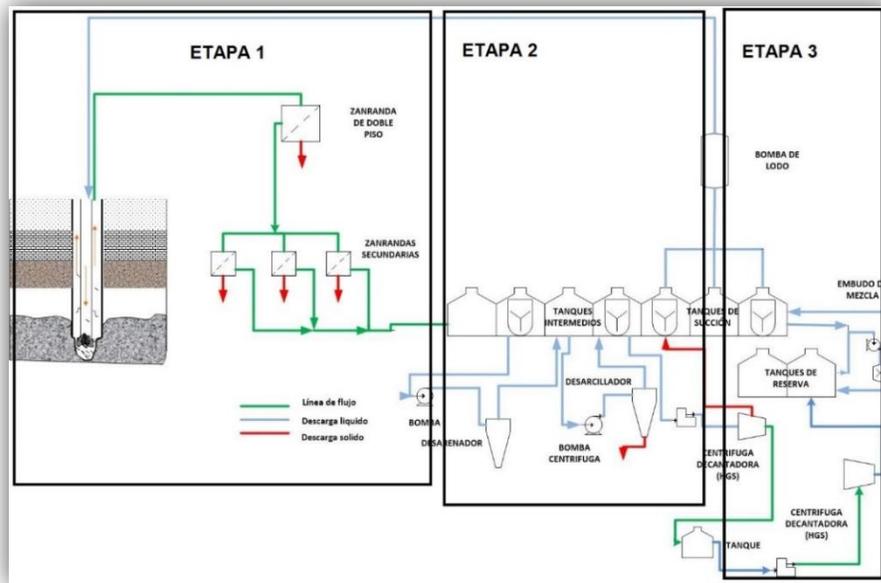
Para cumplir con el plan de manejo ambiental del pozo, se realizan operaciones de mantenimiento por dos personas capacitadas, estos gastos generados para el sistema propuesto son de 3,833 dólares y para el sistema utilizado son de 5,500 dólares, determinan que el sistema propuesto tiene un ahorro de 1,667 dólares, como en la operación no se tiene ningún agente químico que acelere la separación de los sólidos, no representa un costo para la operación.

Las operaciones seguras en los sistemas, no son un factor por el cual se pueda determinar una diferencia en los dos sistemas mencionados, porque los equipos cumplen con los parámetros de seguridad industrial, para garantizar condiciones seguras al personal en la operación.

6.4 Plan de implementación para Ecopetrol

Ya que Ecopetrol S.A. estableció un plan de inversiones para el 2020 en la parte de producción y exploración, se recomienda que en las próximas campañas de perforación se integre una zaranda de doble piso, ya que de esta manera se disminuiría el consumo de energía y se tendría un ahorro de espacio en la locación, intercambiando una zaranda primaria y una secundaria por una zaranda recomendada (zaranda de doble piso). Como se muestra la **figura 42**.

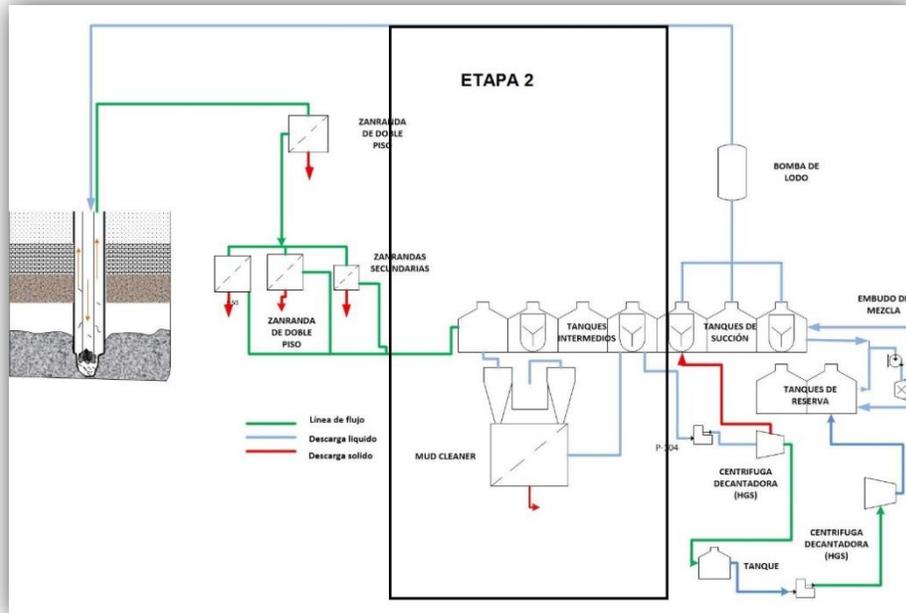
Figura 48. Propuesta 1 de implementación progresiva del sistema.



En cuanto a los tiempos de operación, serán más cortos, ya que el lodo no tendrá que trasladarse de una zaranda a otra, sino que en la misma zaranda se lograra el tratamiento del fluido. Una vez se implemente este primer equipo y se determine su adecuado funcionamiento; se recomienda implementar las dos zarandas de doble piso para que la separación primaria se optimice.

En cuanto a la implementación del mud cleaner, estos equipos se pueden armar de acuerdo a las unidades que se tengan en la locación, tomando los hidrociclones (desarenador y desarcillador) y las zarandas removidas, se pueden adecuar, para que funcionen como un solo equipo y así no tener que gastar dinero en nuevos productos y perder dinero dejando equipos sin utilizar. Como se muestra en la **figura 43**.

Figura 49. Propuesta 2 de implementación progresiva del sistema.



Al dividir el proceso de implementación de la alternativa en 3 etapas diferentes se busca equilibrar los gastos de acuerdo a la adquisición de los equipos nuevos, haciendo progresiva la puesta en marcha del nuevo sistema de control de sólidos; del mismo modo se busca optimizar los equipos existentes como lo son (desarenadores y desarcilladores) para que a partir de ellos se configure el mud cleaner. Respecto a las centrifugas que hacen parte de la etapa 3, se recomienda organizar los equipos actuales en los dos arreglos (en serie y paralelo) de la forma propuesta.

7. CONCLUSIONES

- La alternativa propuesta para la puesta en marcha de un sistema que la separación y disposición final de los cortes industriales de perforación demuestra que el sistema alcanza una recuperación del fluido alrededor de un 85% de acuerdo al balance de masa, a través al software, se muestra que el porcentaje de humedad obtenido al final del sistema es del 0,9% luego de la unidad de floculación. Lo cual cumple con los decretos 838 de 2005 y el decreto 4741 de 2005 de la normatividad colombiana, esto se logra implementando últimas tecnológicas como la zaranda de doble piso y un mud cleaner.
- Propiedades como la densidad (8.6-14 ppg), viscosidad (15 cp) y tamaño de cortes (0- 10 mm), son fundamentales para la selección apropiada del sistema de control de sólidos, ya que ayudan a determinar presiones de operación, capacidades de las bombas, fuerza G y punto de corte de cada unidad, esto con el objetivo de tener las condiciones operativas más adecuadas durante el proceso.
- En los distintos modelos existentes para el control de sólidos, el más apropiado para la perforación del pozo A, es el sistema de control de sólidos para un fluido de perforación pesado, ya que, en este sistema, al utilizar dos centrifugas, logra remover los cortes de perforación más finos sin tener pérdidas del material densificante, utilizado en el fluido de perforación.
- Las zarandas de doble piso representan una solución en la solución para ahorrar más del 10% de espacio en el sistema. Equipos como hidrociclones ya no se utilizan por separado, se utiliza un equipo integrado por tres (3) unidades llamado mud cleaner.
- El tipo de arreglo (en serie o en paralelo) de las centrifugas es determinante para la separación de sólidos del fluido de perforación, si se implementa un arreglo en serie, permite recuperar de 748 kg/h, alrededor de 5 sacos de material pesante y un arreglo en paralelo permite remover sólidos con tamaños mayores a 0,5 micras.
- Los balances de masa a través del software, demuestran que, en los tres tratamientos, las pérdidas de fluido no son mayores al 15% (4, 57 bl/min), siendo un sistema eficiente para la recirculación del fluido de perforación, además en los tratamientos de los fluidos spud mud y Barandril-N los cortes

fueron removidos alrededor de un 95%, demostrando que las condiciones de operación seleccionadas son pertinentes para el sistema.

- El tratamiento de control de sólidos para el fluido Boremax, presenta un mayor porcentaje de cortes alrededor de 10 kg/h al final del tratamiento, debido a que la sección dos (2) de perforación presenta un mayor volumen de corte (30,77 gal/h), además la formulación del fluido de perforación es más compleja, presentando concentraciones de polímeros entre 0,01 y 0,3 lb/gal y densificante 315 lb/gal, lo que requiere que haya equilibrio entre las pérdidas y la remoción de cortes.
- El estado actual de costo entre los sistemas, muestra que el sistema de control de sólidos propuesto (USD 234,166), genera un costo más bajo a comparación del sistema de control de sólidos que se utilizó en la perforación del pozo A (USD 244,527), el sistema propuesto presenta ventajas en cuanto a la recuperación de fluido de perforación en un 90% y menores tiempos de deshidratación en los cortes. El valor total actual del sistema propuesto ayuda a que tenga un ahorro de 10,361 dólares.
- Para implementar el sistema propuesto, en el Campo Castilla, se identificaron dos etapas. Inicialmente el cambio de las zarandas convencionales por zarandas de doble piso en la primera etapa, con el fin de remover mayor cantidad de sólidos gruesos y ahorrar espacio; adicionalmente, conformar el mud cleaner empleando las unidades (desarenadores, desarcilladores y zaranda) que se encuentren sin utilizar en la locación de modo que la eficiencia del sistema sea del 85%.

8. RECOMENDACIONES

- Analizar experimentalmente las propiedades iniciales y finales de los cortes de perforación una vez se encuentre en el sistema de control de sólidos, para lograr una comparación con la simulación obtenida.
- Los análisis de humedad a cortes de perforación en cada una de las etapas del sistema en cascada son pertinentes, para identificar individualmente la falla de cada equipo y el porcentaje de humedad retirado en etapa.
- Trabajar en un programa que logre simular el comportamiento del fluido en cada uno de los equipos, asociado a Solidwoks, para determinar criterios óptimos de operación.
- Realizar un modelamiento a escala laboratorio para determinar la eficiencia y la humedad real de sistema propuesto.
- Generar una evaluación financiera detallada para el sistema de control de sólidos propuesto, con el fin de conocer por medio de un indicador que tan conveniente es la implementación del sistema para una compañía.

BIBLIOGRAFÍA

AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS(ANH), Colombian Sedimentary Basins. Bogotá, 2013.

ANH.Cuenca Llanos Orientales.Bogotá,2012.

ANH. Open Round Colombia. Bogotá. 2010.

ARANGO,Andrea. Análisis sismoestratigráfico de la formación Carbonera miembro C7 (Municipio de Orocué y San Luis de Palenque, Cuenca Llanos Orientales). (Trabajo de grado). Fundación Universidad de América. Bogotá.2014.

ARIAS, Haydy. Patronamiento de las tendencias direccionales en las formaciones de la Cuenca de los Llanos Orientales. (Municipio de Acacias y Castilla la Nueva, departamento del Meta). (Tesis de grado). Escuela de ingeniería de petróleos Bucaramanga, 2012.

ASOCIACIÓN INTERNACIONAL DE LA INSUSTRIA DE LOS FERTILIZANTES. Los fertilizantes y su uso. Roma. 2002. p. 1-4.

BALLESTEROS, Adriana. Evaluación de diferentes sistemas para el tratamiento de residuos de perforación en el Campo Tarapoa operado por la empresa Andes Petroleum S.A. (Tesis de grado). Escuela superior politécnica. Ecuador. 2007.

BAUTISTA, Luis. Manejo de desechos y deshidratación (dewatering) de los fluidos de perforación base agua. (Tesis de pregrado). Universidad nacional de ingeniería. Facultad de ingeniería de petróleo, gas natural y petroquímica. Lima-Perú. 2010.

BELTRÁN, Oscar. DÍAZ, Fabio. Evaluación de la disposición de residuos y fluidos generados a partir del proceso de secado de cortes en la perforación de los pozos petrolíferos con lodos base agua en el campo A. (trabajo de grado). Fundación Universidad de América. Bogotá. 2011.

CARIBE GG. Ecopetrol presenta plan de negocio para el 2017.En: La lengua Caribe [En línea]: <<http://www.lalenguacaribe.co/ecopetrol-presenta-plan-negocios-para-el-2017/>> [citado en noviembre 22 del 2016]

CLAROS, Diego. VANEGAS, Lester. Aplicación de la metodología de tiempos no productivos por riesgo geomecánicos en el proceso de perforación del Campo Chichimene. (Trabajo de grado). Fundación Universidad de América. Bogotá. 2011.

DÍAZ, Lig. MOTA, Madglorys. Evaluación de los aceites minerales VASSA LP-120-0A y VASSA LP-120-0AE, para la preparación de fluidos de perforación 100%

aceite diseñado para las perforaciones costa afuera en el Campo Dragon-Norte de Paria. (Tesis de grado). Universidad del Oeste. Puerto la Cruz.2009.

DUSENBURY, Anuel.The Hannatoma fauna in Colombia and Venezuela. Venezuela, 1949.

ESPINOSA, Andrés. QUIROGA, Karen. Desarrollo de un proceso para el acondicionamiento de los cortes de perforación como fertilizante de un campo petrolero. (Trabajo de grado). Fundación Universidad de América. Bogotá.2013.

GN solid control. (2010). Double deck shale shaker vs hight G shale shaker. Recuperado de: www.gnsolidscontrol.com/drilling/double-deck-shale-shaker-vs-high-g-shale-shaker/.

INSTITUTO CEC PETROL. Cuencas Sedimentarias de Colombia. Valle del Cauca. 2012.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION. Documentación. Presentación de tesis. Trabajos de grado y otros trabajos de investigación. NTC 1486. Bogotá D.C.: ICONTEC, 23 de 07 de 2008. 41 p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION. Referencias bibliográficas. Contenido. Forma y estructura. NTC 5613. Bogotá D.C.: ICONTEC, 23 de 07 de 2008. 38 p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION. Referencias documentales para fuentes de información electrónicas. NTC 1486. Bogotá D.C.: ICONTEC, 28 de 10 de 1998.27 p.

JIMÉNEZ, Carol y DOMINGUEZ, John. Análisis de fallas y errores en el proceso de control de pozo en situaciones anormales durante la perforación. Escuela de ingeniería de petroleos. Bucaramanga. 2011.

LAPERYROUSE, Norton. Formulas y cálculos para la perforación, producción y rehabilitación. 2002.

LEGUÍZAMO, Rodrigo. Manual de entrenamiento básico para el sistema de control de sólidos. Bogotá. 2015.

MALDONADO, Ángela. Formulación y evaluación de fluidos de perforación base agua de alto rendimiento aplicados al Campo Balcón como sustitutos de lodos base aceite. (Tesis de grado). Escuela de ingeniería de los petróleos, Bucaramanga. 2006.

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Guía de manejo ambiental para proyectos de perforación, de pozos de petróleo y gas. Bogotá. 1999.

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Op., Cit; Sección PER-6-070.2013.

MISWACO. Curso de adiestramiento, control de sólido. México. 2002.

MOLINA, Miguel. Técnicas desarrolladas de los sistemas de control de sólidos de los fluidos de perforación. (Tesis de grado). Universidad Nacional De Ingeniería. Perú. 2009.

REAL ACADEMIA DE LA LENGUA ESPAÑOLA. Diccionario ed. 23. 2014.

REUTERS. Ecopetrol perforara 80 pozos en lo que queda del año: De los nuevos pozos, 35 se perforarán en el Campo Rubiales, 35 en Castilla y los restantes estarán divididos en otros campos. En: Portafolio [En línea]. <<http://www.portafolio.co/negocios/empresas/ecopetrol-perforara-80-pozos-en-lo-que-resta-del-2016-499632>> [Citado en agosto 17 del 2016]

RODRÍGUEZ, Alba. Estudio del control de pozos durante las operaciones de mantenimiento y workcover en el Campo Apiay y Castilla La Nueva. (Trabajo de grado). Escuela de ingeniería de petróleos. Bucaramanga.2008.

UNAM. Procesos de separación I. México.2012.

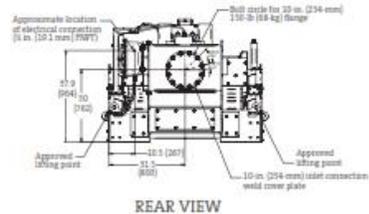
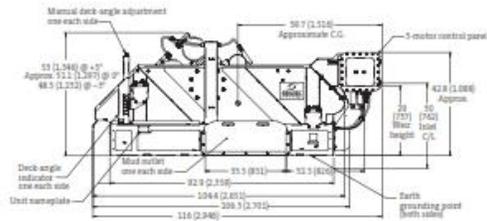
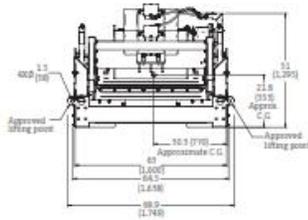
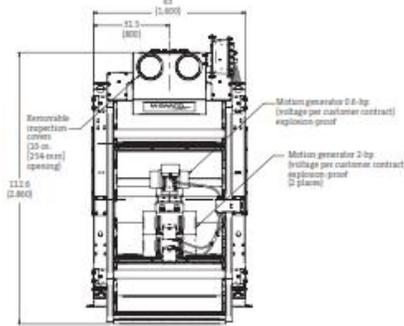
UNIVERSIDAD MAYOR REALY PONTIFICIA SAN FRNACISCO XAVIER DE CHUQUISACA. Equipos mecánicos de control de sólidos. Bolivia.2011.

ANEXOS

ANEXO A.

FICHA TÉCNICA DE LA ZARANDA

Basic MONGOOSE PT shaker with header box



Specifications

- Length:
 - Linear motion 116 in. (2,946 mm)
 - Dual motion 120 in. (3,048 mm)
- Width 68.9 in. (1,749 mm)
- Weir height 29 in. (737 mm)
- Height 51 in. (1,295 mm)
- Weight 3,800 lb (1,724 kg)

Screen Deck and Screens

- Screen area:
 - Gross: 29.4 ft² (2.73 m²)
 - Net (API): 21.2 ft² (1.97 m²)
- Deck-angle adjustment: -3° to +3°
- Screen type: Pre-tensioned 4 x 2 ft (1.2 x 0.61 m)

Basket Isolation

- Powder-coated steel springs

Motor Specifications

- Two (2) main 2-hp vibrator motors
- One (1) additional 0.6-hp vibrator motor on dual-motion model
- 460V/60 Hz/1,800 rpm or 400V/50 Hz/1,500 rpm
- Explosion proof
- Class I, Groups C and D
- UL/cUL, CE, ATEX, NORSOK

Basic Fluid Capacity

- 600 gpm (2,271 L/min)

ANEXOB.

FICHA TÉCNICA DE LA ZARANDA

MONGOOSE PT dual and triple shakers take performance to a new level

Now, MONGOOSE PT shakers can be yoked together to deliver even more capability. Two, or even three, MONGOOSE PT shakers can be pre-aligned at the factory and mounted together on a single skid using a

common collection box. A single lift moves the shakers into place, allowing them quickly to be put into service. Economy of motion as the shakers are installed is the first step in cost savings. The next step is the

improved processing that a dual or triple MONGOOSE PT shaker delivers. Now, you can easily double or triple the top-of-the-line performance you get from the M-I SWACO MONGOOSE PT shaker.

MONGOOSE PT Dual Shaker



MONGOOSE PT Triple Shaker



Dual Specifications

- Length 128 in. (3,241 mm)
- Width 145 in. (3,689 mm)
- Weir height 29 in. (737 mm)
- Height 51 in. (1,295 mm)
- Weight 9,400 lb (4,264 kg)
- Basic fluid capacity 1,200 gpm (4,542 L/min)

Triple Specifications

- Length 137 in. (3,481 mm)
- Width 213 in. (5,413 mm)
- Weir height 33 in. (838 mm)
- Height 55 in. (1,297 mm)
- Weight 15,000 lb (6,804 kg)
- Basic fluid capacity 1,800 gpm (6,813 L/min)

Features and Benefits

- Combines two or three MONGOOSE PT shakers into one integral assembly by bolting together skids with field-installable kit
- Standard assembly includes common possum belly
- Can be lifted/rigged as single unit
- Single flowline connection to shakers
- Feeder slide gates integral to possum belly
- Flow distribution controlled by slide gates
- Flow can be opened/closed to any shaker
- Flow can be regulated by adjusting slide gate height
- Available options:
 - Multiple header boxes
 - Mud cleaner
 - Lifting frame

ANEXO C.

FICHA TÉCNICA DEL MUD CLEANER



HIGH-VOLUME MUD CLEANERS



FEATURES

- Assists with environmental compliances
- Cuts downtime and reduces repair
- Complete product line provides diverse configuration options
- Field-proven performance

BENEFITS

- Lowers drilling-fluid and disposal costs
- Minimizes maintenance on downstream equipment
- Compatible with oil- or water-base muds
- Effective in controlling drilled solids and retaining expensive barite

The M-I SWACO* line of mud cleaners consists of a two-stage separation process using a combination of hydrocyclones mounted over a shale shaker to operate as a single unit.

Designed to handle the entire circulating volume, mud cleaners are effective on both weighted and unweighted drilling-fluid systems in removing and drying solids while retaining the expensive liquid. The hydrocyclones make the primary separation with underflow directed onto the shaker's vibrating screen. Used correctly, M-I SWACO mud cleaners lower both drilling-fluid and disposal costs.

Features

Versatile. M-I SWACO mud cleaners can be configured with an M-I SWACO D-SALTER*, a D-SANDER* or both over a high-performance shaker to process weighted or unweighted drilling-fluid systems.

Environmentally efficient. Removing and drying drilled solids helps meet environmental regulations by minimizing waste generated and reducing disposal costs.

Minimizes maintenance. Continuous removal of sand and abrasive cuttings from drilling fluid cuts downtime and reduces repair and replacement of worn parts on downstream equipment.

Wide range of mud cleaners for your drilling-fluid system.

M-I SWACO mud cleaners are available in a variety of configurations.

The Model 6T4 (12 clone), Model 8T4 (16 clone) and Model 10T4 (20 clone) D-SALTERS, when matched with an M-I SWACO shale shaker, provide processing rates from 900 to 1,500 GPM (3,406.9 to 5,678.1 L/min). The Model 2-12 D-SANDER, when matched with an M-I SWACO shaker, provides processing capabilities to 1,000 GPM (3,785.4 L/min).

The three-in-one Model 2-12 D-SANDER and Model 6T4 (12 clone) D-SALTER mounted over an M-I SWACO high-performance shaker provides the most versatile separation combination package with rates of 1,000 and 900 GPM (3,785.4 and 3,406.9 L/min) respectively.

Works with oil- or water-base muds. M-I SWACO mud cleaners are designed to work with either oil- or water-base weighted muds, as well as with either dispersed or non-dispersed muds. They are also effective on unweighted drilling-fluid systems, removing fine drilled solids while retaining expensive liquid phases. Field-proven, M-I SWACO mud cleaners are especially effective in controlling drilled solids and retaining expensive barite when used in conjunction with M-I SWACO fine-screen shale shakers and centrifuges.



How It Works

Mud cleaners combine a hydrocyclone system with a shale shaker to help remove the fine drilled solids from the drilling fluid.

Together, they have the capability to process the entire drilling-fluid circulation volume, and remove drilled solids from weighted mud systems; retaining expensive barite and liquids, and economically reducing hole problems associated with excessive drilled solids. Drilling fluid passes through a series of hydrocyclones — either D-SALTER or D-SANDER units — that separate the fine, light particles from the heavy, coarse particles. Barite and other heavy drilled solids are then carried in the underflow to a 100-to 200-mesh vibrating screen. There, they are separated, with the barite passing through the screen and returning to the active system.

The M-I SWACO D-SALTER unit features the exclusive polyurethane **Twin SWACONE®** D-SALTER cones with a unique 20° taper angle (compared to the 15° taper angle on most other units). The twin-cone design provides a 50% greater capacity than other 4-in. (102-mm) cones.

The M-I SWACO D-SANDER Model 2-12 and Model 3-12 are designed to remove sands and abrasive cuttings, 95% of all particles to 74 microns and more than 50% of particles to 40 microns. The D-SANDER unit features your choice of two or three 12-in.- (304.8-mm-) diameter replaceable wear-resistant polyurethane hydrocyclones and quick-release stainless-steel clamps for simplified changeout.

These high-volume mud-cleaner product combinations provide drillers a wide range of efficient, space-saving processing options including connection to centrifuges for barite recovery.

D-SANEN Mud Cleaner Specifications

Model	Number of Clones	Length in. (mm)	Width in. (mm)	Height in. (mm)	Weight lb (kg)	Capacity gpm (L/min)
1-12 D-SANEN (vertical)	1	33 (838.2)	19.5 (495.3)	74.4 (1,889.8)	401 (181.9)	500 (1,892.7)
2-12 D-SANEN (vertical)	2	36 (914.4)	51.5 (1,308.1)	71.2 (1,808.5)	1,125 (510.3)	1,000 (3,785.4)
2-12 D-SANEN (slant)	2	78 (1,981.2)	47.5 (1,206.5)	35.2 (894)	1,030 (467.2)	1,000 (3,785.4)
3-12 D-SANEN (vertical)	3	40.7 (1,033.8)	75.5 (1,917.7)	78.3 (1,988.8)	1,878 (851.9)	1,500 (5,678.1)
3-12 D-SANEN (slant)	3	83 (2,106.2)	71 (1,803.4)	41.5 (1,054.1)	2,450 (1,111.3)	1,500 (5,678.1)

D-SIXEN Mud Cleaner Specifications

Model	Number of Clones	Length in. (mm)	Width in. (mm)	Height in. (mm)	Weight lb (kg)	Capacity gpm (L/min)
4T4	8	52 (1,320.8)	30 (762)	56.1 (1,424.9)	680 (308.4)	600 (2,271.2)
6T4	12	66 (1,676.4)	30 (762)	56.1 (1,424.9)	800 (362.9)	900 (3,406.9)
8T4	16	80.3 (2,039.6)	30 (762)	56.1 (1,424.9)	925 (419.6)	1,200 (4,542.5)
10T4	20	94.5 (2,400.3)	32 (812.8)	80.3 (1,531.6)	1,150 (521.6)	1,500 (5,678.1)

Combo D-SANEN/D-SIXEN Specifications

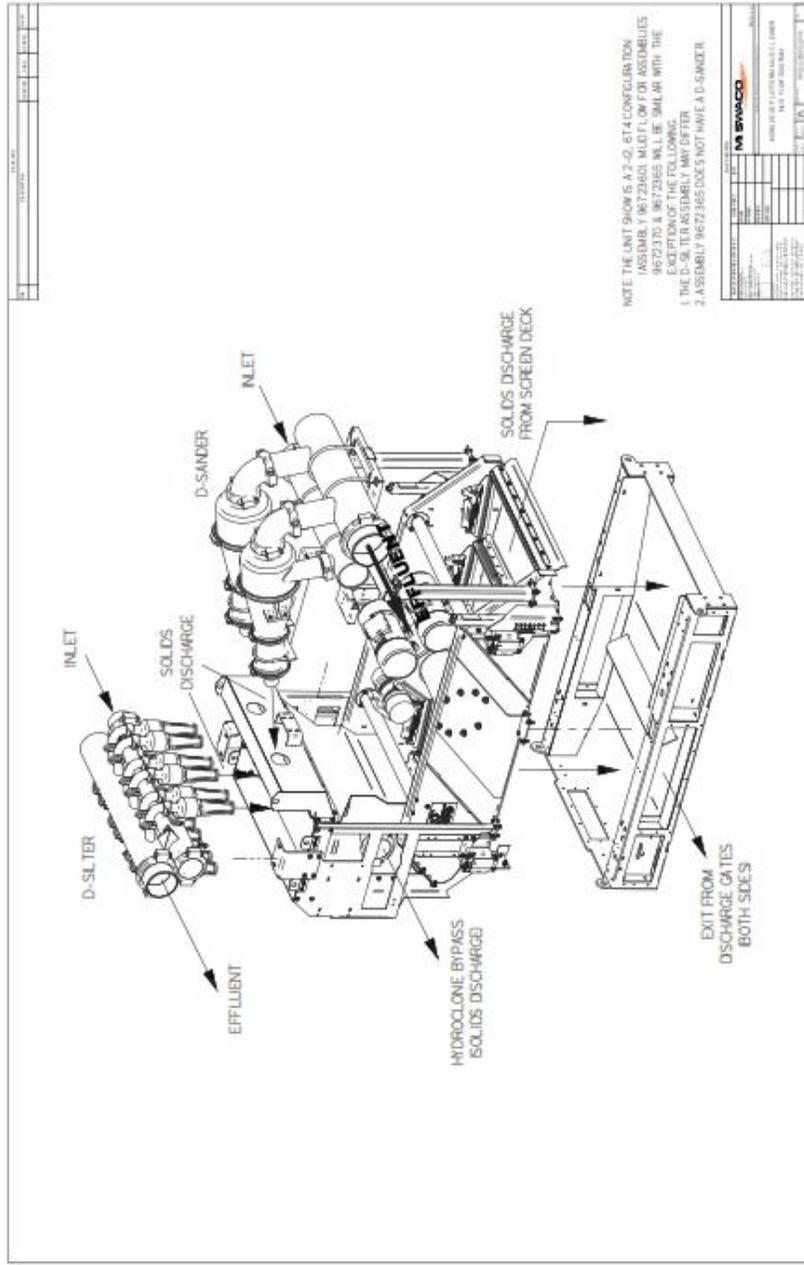
Model of D-SANEN	Model of D-SIXEN	Number of Clones	Length in. (mm)	Width in. (mm)	Height in. (mm)	Weight lb (kg)	Capacity gpm (L/min)
2-12 D-SANEN	6T4	12	129.5 (3,289.3)	72.8 (1,849.1)	97 (2,463.8)	7,072 (3,207.8)	1,000/900 (3,785.4/3,406.9)
2-12 D-SANEN	8T4	16	129.8 (3,296.9)	80.5 (2,044.7)	97 (2,463.8)	7,162 (3,248.8)	1,000/1,200 (3,785.4/4,542.5)

This information is supplied solely for informational purposes and M-I SWACO makes no guarantee or warranties, either expressed or implied, with respect to the accuracy and use of this data. All product warranties and guarantees shall be governed by the Standard Terms of Sale.

©1999 M-I LLC. All rights reserved. *Mark of M-I LLC.
MS-04217 1/04 Litho in U.S.A.

M-I SWACO
A Schlumberger Company

P.O. Box 42842
Houston, Texas 77242-2842
Tel: 281-988-1866
1-800-654-0660
Fax: 281-988-1888
www.miswaco.com
E-mail: questions@miswaco.com



Mongoose PT Platform Mud Cleaner
 Document Title: Mud Flow Diagram
 Section 8.03

ANEXO D.

FICHA TÉCNICA DE LA CENTRÍFUGA DECANTADORA

518 CENTRIFUGE

The M-1 SWACO 518 CENTRIFUGE* is the premier high-speed, decanting centrifuge for drilling-mud and fluids-handling applications. Ruggedly built for oilfield and industrial service, it is especially effective in environmentally sensitive areas. It delivers high fluid-recovery rates and efficient solids control to significantly reduce the costs of makeup fluids and disposal. The M-1 SWACO 518 CENTRIFUGE is precision-balanced for smooth operation over long periods at speeds of 1,900 to 3,250 RPM, generating centrifugal forces up to 2,100 G's.



Features and Benefits

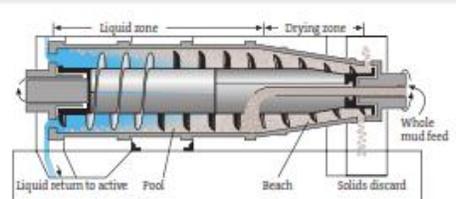
- Innovative design includes longer bowl for increased retention time, resulting in drier solids and finer cut points
- Tungsten carbide scroll points with wide spacing flights at tapered end create a finer layer of conveyed solids for consistent, uniform separation and maximum solids-control efficiency
- Stainless steel bowl, scroll, compartment and cover resist corrosion and provide long service life
- Precision balanced to run at high RPMs for extended periods with greater efficiency, minimizing maintenance and downtime
- Skid mounted, low profile minimizes space requirements
- Effectively removes the finest silts and returns valuable fluids for reuse
- Reduces makeup fluids, dilution, cleanup and disposal costs
- Ideal for any solids-control application; especially valuable in environmentally sensitive areas
- Rugged construction and corrosion-resistant materials provide long service life and low maintenance costs in the toughest oilfield environments
- Works efficiently with other M-1 SWACO equipment to maximize solids control

How it works

The heart of an M-1 SWACO centrifuge is its high-speed, precision-balanced rotating stainless-steel bowl. Inside the bowl, a double-lead spiral-screw conveyor rotates in the same direction as the bowl but at a slightly slower RPM.

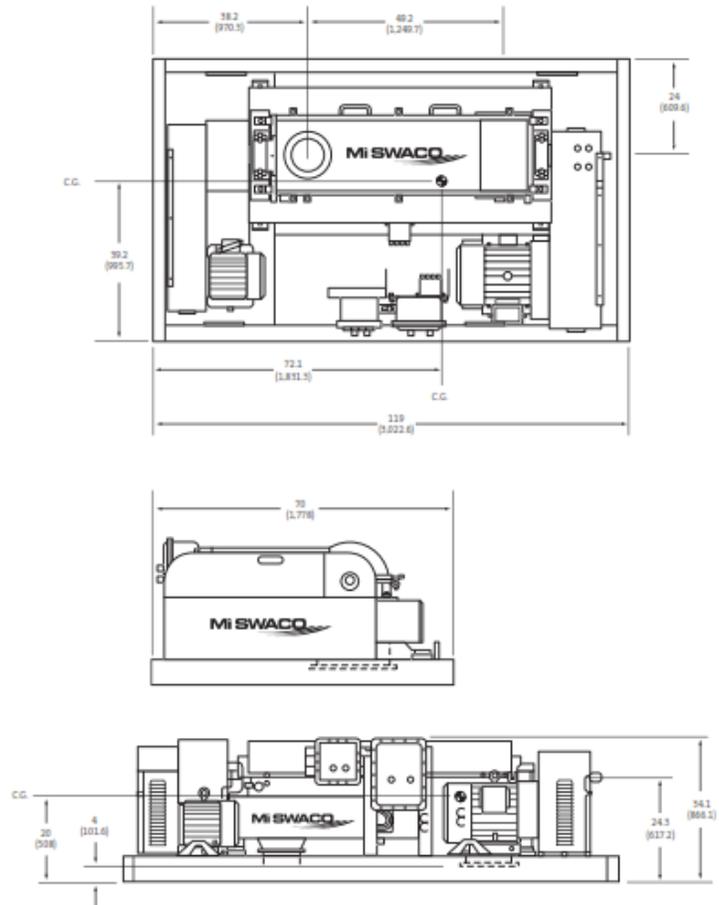
Feed slurry enters through a hollow axle at the narrow end and is distributed to the bowl. Centrifugal force as high as 500 G's at 1,900 RPM (or 2,100 G's at 3,250 RPM) holds the slurry against the bowl wall in a "pool." Trapped silt

and sand-sized particles settle and spread against the bowl wall where they are scraped and conveyed to the solids underflow discharge ports by tungsten-carbide-tipped scroll flights. Silt and sand particles exit damp, but with no free liquid. The free-liquid phase carries the fine, 2- to 3-micron-size particles through the nonplugging stainless steel and tungsten-carbide hardfaced-discharge ports.



ENGINEERING DRAWING: 518 CENTRIFUGE

All dimensions are expressed in inches (millimeters).

**Specifications**

- Bowl size 14 x 50 in.
(350 x 1,422 mm)
- Length 119 in.
(3,022.6 mm)
- Width 70 in. (1,778 mm)
- Height 34.1 in. (866.1 mm)
- Weight 4,800 lb (1,832 kg)
- Horsepower 25 hp/75 hp

ANEXO E.

COTIZACIÓN DE LOS EQUIPOS

GN Solids Control		http://www.gnsolidscontrol.com		
To: Serinco Drilling S.A. Tel: Fax: Mobile: Address: Attn: John Castillo Email:		From: Hebei GN Solids Control Co.,Ltd. Tel: +86-316-5276988 / 5276989 / 5276990 Fax: +86-316-5276997 / 5276990 Mobile: +86-15930621040 Address: No.3 Industry Road, Dachang Chaobai River Development Area, Contact Person: Teresa Bai Email: teresa@gnsolidscontrol.com / teresa@gnsolidscontrol.com		
Quotation for GN solids control equipments Date: 9 Nov., 2016; Quote No.: GN20161109A				
S/N	Descripción	Cantidad	Precio por unidad(USD)	Suma(USD)
1	Shale shaker Model: GNZS703E-HB	1	17,188	17,188
2	Double deck Shale shaker Model: GNZS706E-HB	1	20313	20313
3	shaker screen, API 40,60,80, 100 (customized)	1	90	90
4	Centrifugal pump Model: GNSB8*6A-11J	1	4063	4063
5	Centrifugal pump Model: GNSB6*5A-10J	1	3906	3906
6	Mud Cleaner(bottom shaker+ desander+desilter 3 in 1) Model: GNZJ703E-3S16N	1	27344	27344
7	Mud Cleaner(bottom shaker+ desander+desilter 3 in 1) Model: GNZJ703E-2S12N	1	25000	25000
8	Decanter centrifuge Modelo: GNLW452C-GP	1	37500	37500
9	Decanter centrifuge with VFD control panel Model: GNLW363CG-VFD	1	62500	62500
10	Desander Model: GNWSE-3S	1	5000	5000
11	Desilter Model: GNWSE-16N	1	5313	5313
General Remarks				
1) All the electric motors and electrical control panel (except the VFD control panel) should be designed to suit the electric specifications for 400V/60HZ, 3 Phase and comply with China explosion proof standard, Ex marks: Ex d II B4 Gb for Zone 2 applications. 2) All the positive pressurized VFD electric control panel should be designed to suit the electric specifications for 400V/60HZ, 3 Phase (or customized) and comply with China explosion proof standard, Ex marks: Exdcb FZ IIB T6 Gc for Zone 2 application. 3) The capacity for above equipments is for normal operation, the actual capacity will vary depends on the input and output conditions of the material.				
Sales Condition				
EXW Langfang,China Total Cost(USD)				
Manufacture time:		35days after receiving deposit		
Payment Terms:		T/T(40% in advance + 60% balance after receiving B/L copy)		
Quote Validity:		30 Days		
Brand:		GN Solids Control		
Manufacturer:		Hebei GN Solids Control Co.,Ltd		
Origin:		China		
Shipment:		Standard Container Shipping		
About GN Solids Control				
Remarks: 1) GN is the 1st API certified solids control company in China, also certified by: Europe DNV CE, HSE, ISO9001,ISO14001, Russia TP&TC 2) GN Solids America is the first & biggest China owned USA based Solids Control Company. www.gnsolidsamerica.com 3) GN Solids Control facility Area: 700,000 SF,exported to over 60 countries. www.gnsolidscontrol.com/china-factory/				
Guarantee				
The Seller shall Guarantee the goods (wearing spare parts excluded) for 14 Months after shipment or 12 months after commissioning whichever comes first, during the guarantee period, The Seller will be responsible for problems caused by quality of production or raw material, but the Seller will not be responsible for the equipment problems caused by incorrect man-made operation.				
Commissioning Service Cost				
1) If requested by buyer, seller shall send engineer for helping the first time commissioning of the products which are provided by seller. 2) Regarding to commissioning service cost, the traveling cost include flights cost and visa cost of seller people between China and buyer's country is at the expense of buyer. All the cost for traveling and accommodation and food related with service for the seller's people in buyer's country is at the expense of the buyer. 3) Service cost to the Seller's engineer is free of charge for one week of contract FOB price is over USD100,000, for each exceeding day of the service the buyer will be charged for USD 200 of each day for each person.				

ANEXO F.

Balance de masa 1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temperatura C	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Pressure bar	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
Vapor Frac	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mole Flow kmol/hr	6950,023	2316,651	2316,672	2316,7	2,317	2314,334	2,314	2312,02	2,317	2314,355
Mass Flow kg/hr	132869,733	44289,468	44289,867	44290,398	44,289	44245,179	44,245	44200,933	44,29	44245,577
Volume Flow cum/hr	181,26	60,419	60,42	60,421	0,06	60,359	0,06	60,299	0,06	60,359
Enthalpy MMBtu/hr	-1889,267	-629,749	-629,755	-629,763	-0,63	-629,12	-0,629	-628,491	-0,63	-629,125
Mass Flow kg/hr										
WATER	123562,051	41186,938	41187,309	41187,804	41,187	41145,752	41,146	41104,606	41,187	41146,122
ARENISCA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ARCILLO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LIMONITA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BENTON	9307,682	3102,53	3102,558	3102,595	3,103	3099,427	3,099	3096,328	3,103	3099,455
Mole Flow kmol/hr										
WATER	6858,736	2286,222	2286,243	2286,271	2,286	2283,936	2,284	2281,652	2,286	2283,957
ARENISCA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ARCILLO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LIMONITA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BENTON	91,286	30,429	30,429	30,429	0,03	30,398	0,03	30,368	0,03	30,398
Temperature C	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Pressure bar	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
Mass VFrac	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mass Flow kg/hr	138882,495	46293,702	46294,119	46294,674	331,35	45962,352	1613,899	44348,453	254,555	46039,564
Volume Flow cum/hr	184,109	61,369	61,37	61,37	0,196	61,173	0,804	60,368	0,16	61,209
Enthalpy MMBtu/hr	-1903,896	-634,626	-634,631	-634,639	-1,328	-633,297	-4,448	-628,85	-1,141	-633,49
Mass Flow kg/hr										
WATER	123562,051	41186,938	41187,309	41187,804	41,187	41145,752	41,146	41104,606	41,187	41146,122
ARENISCA	968,346	322,779	322,782	322,785	46,231	276,548	252,79	23,758	33,863	288,919
ARCILLO	968,342	322,777	322,78	322,784	46,23	276,547	252,789	23,758	33,863	288,918
LIMONITA	4076,075	1358,678	1358,69	1358,707	194,599	1164,079	1064,075	100,004	142,539	1216,151
BENTON	9307,682	3102,53	3102,558	3102,595	3,103	3099,427	3,099	3096,328	3,103	3099,455
MASSSFRA	0,043	0,043	0,043	0,043	0,866	0,037	0,973	0,003	0,826	0,039
RHOMX kg/cum	754,351	754,351	754,351	754,351	1686,788	751,356	2007,051	734,63	1590,465	752,164
Temperature C	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25

BALANCES DE MASA

Balance de masa 1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Pressure bar	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
Vapor Frac	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mole Flow kmol/hr	65,845	21,948	21,948	21,948	3,144	18,804	17,189	1,615	2,303	19,646
Mass Flow kg/hr	6012,762	2004,234	2004,252	2004,276	287,06	1717,174	1569,654	147,519	210,265	1793,987
Volume Flow cum/hr	2,849	0,95	0,95	0,95	0,136	0,814	0,744	0,07	0,1	0,85
Enthalpy MMBtu/hr	-14,629	-4,876	-4,876	-4,876	-0,698	-4,178	-3,819	-0,359	-0,512	-4,365
Mass Flow kg/hr										
WATER	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ARENISCA	968,346	322,779	322,782	322,785	46,231	276,548	252,79	23,758	33,863	288,919
ARCILLO	968,342	322,777	322,78	322,784	46,23	276,547	252,789	23,758	33,863	288,918
LIMONITA	4076,075	1358,678	1358,69	1358,707	194,599	1164,079	1064,075	100,004	142,539	1216,151
BENTON	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mole Flow kmol/hr										
WATER	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ARENISCA	4,752	1,584	1,584	1,584	0,227	1,357	1,241	0,117	0,166	1,418
ARCILLO	4,359	1,453	1,453	1,453	0,208	1,245	1,138	0,107	0,152	1,301
LIMONITA	56,733	18,911	18,911	18,911	2,709	16,202	14,81	1,392	1,984	16,927
BENTON	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Balance de masa 1	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Temperatura C	25	25	25	25	25	25	25	25,1	25,1	25,1
Pressure bar	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	2,37	2,37	2,37
Vapor Frac	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mole Flow kmol/hr	2,314	2312,041	2,317	2314,383	2,314	2312,069	6936,129	6936,129	3468,065	3468,065
Mass Flow kg/hr	44,246	44201,331	44,29	44246,108	44,246	44201,862	132604,126	132604,126	66302,063	66302,063
Volume Flow cum/hr	0,06	60,299	0,06	60,36	0,06	60,3	180,897	180,907	90,454	90,454
Enthalpy MMBtu/hr	-0,629	-628,496	-0,63	-629,133	-0,629	-628,504	-1885,491	-1885,46	-942,73	-942,73
Mass Flow kg/hr										
WATER	41,146	41104,976	41,188	41146,616	41,147	41105,469	123315,051	123315,051	61657,525	61657,525
ARENISCA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ARCILLO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LIMONITA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BENTON	3,099	3096,355	3,103	3099,492	3,099	3096,393	9289,076	9289,076	4644,538	4644,538
Mole Flow kmol/hr										
WATER	2,284	2281,673	2,286	2283,984	2,284	2281,7	6845,025	6845,025	3422,513	3422,513
ARENISCA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ARCILLO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LIMONITA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BENTON	0,03	30,368	0,03	30,399	0,03	30,368	91,104	91,104	45,552	45,552
Temperature C	25	25	25	25	25	25	25	25,1	25,1	25,1
Pressure bar	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	2,37	2,37	2,37
Mass VFrac	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mass Flow kg/hr	1740,959	44298,605	254,558	46040,116	1740,98	44299,137	132946,195	132946,195	66473,097	66473,097
Volume Flow cum/hr	0,864	60,345	0,16	61,21	0,864	60,346	181,059	181,069	90,535	90,535
Enthalpy MMBtu/hr	-4,757	-628,733	-1,141	-633,498	-4,757	-628,74	-1886,323	-1886,292	-943,146	-943,146
Mass Flow kg/hr										
WATER	41,146	41104,976	41,188	41146,616	41,147	41105,469	123315,051	123315,051	61657,525	61657,525
ARENISCA	273,253	15,666	33,863	288,922	273,256	15,666	55,09	55,09	27,545	27,545
ARCILLO	273,252	15,666	33,863	288,921	273,255	15,666	55,089	55,089	27,545	27,545
LIMONITA	1150,208	65,942	142,541	1216,165	1150,222	65,943	231,889	231,889	115,945	115,945
BENTON	3,099	3096,355	3,103	3099,492	3,099	3096,393	9289,076	9289,076	4644,538	4644,538
MASSSFRA	0,975	0,002	0,826	0,039	0,975	0,002	0,003	0,003	0,003	0,003
RHOMX kg/cum	2014,252	7°34,087	1590,465	752,164	2014,252	734,087	734,268	734,228	734,228	734,228
Temperature C	25	25	25	25	25	25	25	25,1	25,1	25,1

Balance de masa 1	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Pressure bar	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	2,37	2,37	2,37
Vapor Frac	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mole Flow kmol/hr	18,58	1,065	2,303	19,646	18,581	1,065	3,746	3,746	1,873	1,873
Mass Flow kg/hr	1696,713	97,274	210,268	1794,008	1696,733	97,275	342,068	342,068	171,034	171,034
Volume Flow cum/hr	0,804	0,046	0,1	0,85	0,804	0,046	0,162	0,162	0,081	0,081
Enthalpy MMBtu/hr	-4,128	-0,237	-0,512	-4,365	-4,128	-0,237	-0,832	-0,832	-0,416	-0,416
Mass Flow kg/hr										
WATER	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ARENISCA	273,253	15,666	33,863	288,922	273,256	15,666	55,09	55,09	27,545	27,545
ARCILLO	273,252	15,666	33,863	288,921	273,255	15,666	55,089	55,089	27,545	27,545
LIMONITA	1150,208	65,942	142,541	1216,165	1150,222	65,943	231,889	231,889	115,945	115,945
BENTON	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mole Flow kmol/hr										
WATER	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ARENISCA	1,341	0,077	0,166	1,418	1,341	0,077	0,27	0,27	0,135	0,135
ARCILLO	1,23	0,071	0,152	1,301	1,23	0,071	0,248	0,248	0,124	0,124
LIMONITA	16,009	0,918	1,984	16,927	16,009	0,918	3,228	3,228	1,614	1,614
BENTON	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Balance de masa 1	21	22	23	24	25	26	27	28	29
Temperatura C	25.1	25.1	25.1	25.1	25.1	25.1	25.1	25.1	25.1
Pressure bar	1.67	1.67	1.67	1.67	1.67	2.37	1.83	1.83	1.83
Vapor Frac	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mole Flow kmol/hr	3235.847	232.218	3235.847	232.218	6471.693	6471.693	6357.97	63.58	6294.39
Mass Flow kg/hr	61862.544	4439.519	61862.544	4439.519	123725.089	123725.089	121550.941	1215.509	120335.432
Volume Flow cum/hr	84.397	6.057	84.397	6.057	168.794	168.799	165.833	1.658	164.174
Enthalpy MMBtu/hr	-879.606	-63.124	-879.606	-63.124	-1759.211	-1759.196	-1728.283	-17.283	-1711
Mass Flow kg/hr									
WATER	57529	4128.525	57529	4128.525	115058	115058	113036.154	1130.362	111905.793
ARENISCA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ARCILLO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LIMONITA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BENTON	4333.544	310.994	4333.544	310.994	8667.089	8667.089	8514.787	85.148	8429.639
Mole Flow kmol/hr									
WATER	3193.345	229.168	3193.345	229.168	6386.69	6386.69	6274.46	62.745	6211.715
ARENISCA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ARCILLO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LIMONITA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BENTON	42.502	3.05	42.502	3.05	85.004	85.004	83.51	0.835	82.675
Temperature C	25.1	25.1	25.1	25.1	25.1	25.1	25.1	25.1	25.1
Pressure bar	1.67	1.67	1.67	1.67	1.67	2.37	1.83	1.83	1.83
Mass VFrac	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mass Flow kg/hr	62006.572	4466.525	62006.572	4466.525	124013.144	124013.144	121686.53	1328.058	120358.472
Volume Flow cum/hr	84.465	6.069	84.465	6.069	168.93	168.935	165.897	1.712	164.185
Enthalpy MMBtu/hr	-879.956	-63.19	-879.956	-63.19	-1759.912	-1759.897	-1728.613	-17.557	-1711.056
Mass Flow kg/hr									
WATER	57529	4128.525	57529	4128.525	115058	115058	113036.154	1130.362	111905.793
ARENISCA	23.195	4.349	23.195	4.349	46.391	46.391	21.836	18.126	3.711
ARCILLO	23.195	4.349	23.195	4.349	46.391	46.391	21.836	18.126	3.711
LIMONITA	97.637	18.308	97.637	18.308	195.274	195.274	91.916	76.297	15.619
BENTON	4333.544	310.994	4333.544	310.994	8667.089	8667.089	8514.787	85.148	8429.639
MASSFRA	0.002	0.006	0.002	0.006	0.002	0.002	0.001	0.085	0
RHOMX kg/cum	734.108	735.899	734.108	735.899	734.108	734.087	733.508	775.891	733.066
Temperature C	25.1								

Balance de masa 1	21	22	23	24	25	26	27	28	29
Pressure bar	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	2,37	1,83	1,83	1,83
Vapor Frac	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mole Flow kmol/hr	1,577	0,296	1,577	0,296	3,154	3,154	1,485	1,232	0,252
Mass Flow kg/hr	144,028	27,007	144,028	27,007	288,055	288,055	135,588	112,549	23,04
Volume Flow cum/hr	0,068	0,013	0,068	0,013	0,136	0,136	0,064	0,053	0,011
Enthalpy MMBtu/hr	-0,35	-0,066	-0,35	-0,066	-0,701	-0,701	-0,33	-0,274	-0,056
Mass Flow kg/hr									
WATER	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ARENISCA	23,195	4,349	23,195	4,349	46,391	46,391	21,836	18,126	3,711
ARCILLO	23,195	4,349	23,195	4,349	46,391	46,391	21,836	18,126	3,711
LIMONITA	97,637	18,308	97,637	18,308	195,274	195,274	91,916	76,297	15,619
BENTON	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mole Flow kmol/hr									
WATER	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ARENISCA	0,114	0,021	0,114	0,021	0,228	0,228	0,107	0,089	0,018
ARCILLO	0,104	0,02	0,104	0,02	0,209	0,209	0,098	0,082	0,017
LIMONITA	1,359	0,255	1,359	0,255	2,718	2,718	1,279	1,062	0,217
BENTON	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Balance de masa 1	30	31	32	33	34	ARCI	ARE	FP	LIMO
Temperatura C	25,1	25,1	25,1	25,1	25,1			25	
Pressure bar	1,83	1,83	1,83	1,83	1,83	1,01	1,01	1,01	1,01
Vapor Frac	0	0	0	0	0			0	
Mole Flow kmol/hr	113,723	0,045	6294,345	0,005	6294,34	0	0	6950,023	0
Mass Flow kg/hr	2174,148	0,86	120334,572	0,1	120334,472	0	0	132869,733	0
Volume Flow cum/hr	2,966	0,001	164,173	0	164,173	0	0	181,26	0
Enthalpy MMBtu/hr	-30,913	-0,012	-1710,988	-0,001	-1710,986			-1889,267	
Mass Flow kg/hr									
WATER	2021,846	0,8	111904,993	0,093	111904,9	0	0	123562,051	0
ARENISCA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ARCILLO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LIMONITA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BENTON	152,302	0,06	8429,579	0,007	8429,572	0	0	9307,682	0
Mole Flow kmol/hr									
WATER	112,23	0,044	6211,671	0,005	6211,666	0	0	6858,736	0
ARENISCA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ARCILLO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LIMONITA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BENTON	1,494	0,001	82,674	0	82,674	0	0	91,286	0
Temperature C	25,1	25,1	25,1	25,1	25,1	25	25	25	25
Pressure bar	1,83	1,83	1,83	1,83	1,83	1,01	1,01	1,01	1,01
Mass VFrac	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mass Flow kg/hr	2326,614	21,508	120336,964	2,492	120334,472	968,342	968,346	132869,733	4076,075
Volume Flow cum/hr	3,038	0,011	164,174	0,001	164,173	0,95	0,95	181,26	0,95
Enthalpy MMBtu/hr	-31,284	-0,062	-1710,994	-0,007	-1710,986	0	0	-1889,267	-14,628
Mass Flow kg/hr									
WATER	2021,846	0,8	111904,993	0,093	111904,9	0	0	123562,051	0
ARENISCA	24,554	3,325	0,385	0,385	0	0	968,346	0	0
ARCILLO	24,554	3,325	0,385	0,385	0	968,342	0	0	0
LIMONITA	103,358	13,997	1,622	1,622	0	0	0	0	4076,075
BENTON	152,302	0,06	8429,579	0,007	8429,572	0	0	9307,682	0
MASSFRA	0,066	0,96	0	0,96	0	1	1	0	1
RHOMX kg/cum	765,726	1962,889	732,984	1962,889	732,974	1019,646	1019,65	733,035	4292,032
Temperature C	25,1	25,1	25,1	25,1	25,1	25	25		25

Balance de masa 1	30	31	32	33	34	ARCI	ARE	FP	LIMO
Pressure bar	1,83	1,83	1,83	1,83	1,83	1,01	1,01	1,01	1,01
Vapor Frac	0	0	0	0	0	0	0		0
Mole Flow kmol/hr	1,67	0,226	0,026	0,026	0	4,359	4,752	0	56,733
Mass Flow kg/hr	152,467	20,647	2,393	2,392	0	968,342	968,346	0	4076,075
Volume Flow cum/hr	0,072	0,01	0,001	0,001	0	0,95	0,95	0	0,95
Enthalpy MMBtu/hr	-0,371	-0,05	-0,006	-0,006	0	0	0		-14,628
Mass Flow kg/hr									
WATER	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ARENISCA	24,554	3,325	0,385	0,385	0	0	968,346	0	0
ARCILLO	24,554	3,325	0,385	0,385	0	968,342	0	0	0
LIMONITA	103,358	13,997	1,622	1,622	0	0	0	0	4076,075
BENTON	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mole Flow kmol/hr									
WATER	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ARENISCA	0,12	0,016	0,002	0,002	0	0	4,752	0	0
ARCILLO	0,111	0,015	0,002	0,002	0	4,359	0	0	0
LIMONITA	1,439	0,195	0,023	0,023	0	0	0	0	56,733
BENTON	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Balance de masa 2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temperature C	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Pressure bar	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
Vapor Frac	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mole Flow kmol/hr	5143,95	1714,633	1714,648	1714,669	1,715	1712,918	1,713	1711,205	1,715	1712,933
Mass Flow kg/hr	177041,907	59013,379	59013,91	59014,618	59,013	58954,366	58,954	58895,411	59,014	58954,896
Volume Flow cum/hr	182,885	60,961	60,961	60,962	0,061	60,9	0,061	60,839	0,061	60,901
Enthalpy MMBtu/hr	-1319,569	-439,852	-439,856	-439,861	-0,44	-439,412	-0,439	-438,973	-0,44	-439,416
Mass Flow kg/hr										
WATER	85168,318	28389,155	28389,411	28389,751	28,389	28360,766	28,361	28332,405	28,389	28361,021
ARENISCA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ARCILLO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LIMONITA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BOREVIS	2188,402	729,46	729,467	729,475	0,729	728,73	0,729	728,002	0,729	728,737
ARENA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LUTITA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BARAZAN	2188,402	729,46	729,467	729,475	0,729	728,73	0,729	728,002	0,729	728,737
CLAYGRAB	243,035	81,011	81,012	81,012	0,081	80,93	0,081	80,849	0,081	80,931
POLIAC	0,17	0,057	0,057	0,057	0	0,057	0	0,057	0	0,057
BOREPLUS	243,035	81,011	81,012	81,012	0,081	80,93	0,081	80,849	0,081	80,931
POTASA	0,008	0,003	0,003	0,003	0	0,003	0	0,003	0	0,003
ACETATO	972,139	324,043	324,046	324,05	0,324	323,719	0,324	323,395	0,324	323,722
BAROID	85066,26	28355,136	28355,392	28355,732	28,355	28326,781	28,327	28298,454	28,355	28327,036
CLAYSEAL	972,139	324,043	324,046	324,05	0,324	323,719	0,324	323,395	0,324	323,722
Mole Flow kmol/hr										
WATER	4727,56	1575,838	1575,852	1575,871	1,576	1574,262	1,574	1572,687	1,576	1574,276
ARENISCA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ARCILLO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LIMONITA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BOREVIS	21,463	7,154	7,154	7,154	0,007	7,147	0,007	7,14	0,007	7,147
ARENA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LUTITA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BARAZAN	6,393	2,131	2,131	2,131	0,002	2,129	0,002	2,127	0,002	2,129
CLAYGRAB	3,419	1,14	1,14	1,14	0,001	1,139	0,001	1,137	0,001	1,139
POLIAC	0,002	0,001	0,001	0,001	0	0,001	0	0,001	0	0,001
BOREPLUS	2,428	0,809	0,809	0,809	0,001	0,808	0,001	0,808	0,001	0,808
POTASA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ACETATO	9,905	3,302	3,302	3,302	0,003	3,298	0,003	3,295	0,003	3,298
BAROID	364,48	121,492	121,493	121,495	0,121	121,371	0,121	121,249	0,121	121,372
CLAYSEAL	8,298	2,766	2,766	2,766	0,003	2,763	0,003	2,761	0,003	2,763

Balance de masa 2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temperature C	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Pressure bar	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
Mass VFrac	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mass Flow kg/hr	180612,047	60203,414	60203,955	60204,678	290,43	59912,983	582,457	59330,526	261,508	59942,447
Volume Flow cum/hr	184,632	61,543	61,544	61,545	0,174	61,369	0,317	61,052	0,16	61,384
Enthalpy MMBtu/hr	-1336,549	-445,512	-445,516	-445,521	-1,541	-443,971	-2,929	-441,042	-1,403	-444,113
Mass Flow kg/hr										
WATER	85168,318	28389,155	28389,411	28389,751	28,389	28360,766	28,361	28332,405	28,389	28361,021
ARENISCA	237,532	79,176	79,177	79,178	15,397	63,78	34,83	28,949	13,473	65,705
ARCILLO	831,358	277,117	277,119	277,122	53,889	223,228	121,905	101,323	47,154	229,965
LIMONITA	1499,771	499,919	499,923	499,929	97,215	402,703	219,917	182,786	85,065	414,858
BOREVIS	2188,402	729,46	729,467	729,475	0,729	728,73	0,729	728,002	0,729	728,737
ARENA	233,282	77,76	77,76	77,761	15,121	62,638	34,207	28,431	13,231	64,529
LUTITA	768,197	256,063	256,065	256,069	49,795	206,269	112,644	93,625	43,571	212,494
BARAZAN	2188,402	729,46	729,467	729,475	0,729	728,73	0,729	728,002	0,729	728,737
CLAYGRAB	243,035	81,011	81,012	81,012	0,081	80,93	0,081	80,849	0,081	80,931
POLIAC	0,17	0,057	0,057	0,057	0	0,057	0	0,057	0	0,057
BOREPLUS	243,035	81,011	81,012	81,012	0,081	80,93	0,081	80,849	0,081	80,931
POTASA	0,008	0,003	0,003	0,003	0	0,003	0	0,003	0	0,003
ACETATO	972,139	324,043	324,046	324,05	0,324	323,719	0,324	323,395	0,324	323,722
BAROID	85066,26	28355,136	28355,392	28355,732	28,355	28326,781	28,327	28298,454	28,355	28327,036
CLAYSEAL	972,139	324,043	324,046	324,05	0,324	323,719	0,324	323,395	0,324	323,722
MASSSFRA	0,02	0,02	0,02	0,02	0,797	0,016	0,899	0,007	0,774	0,016
RHOMX kg/cum	978,228	978,228	978,228	978,228	1667,109	976,273	1836,871	971,803	1633,831	976,519
Temperature C	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Pressure bar	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
Vapor Frac	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mole Flow kmol/hr	43,364	14,455	14,455	14,455	2,811	11,644	6,359	5,285	2,46	11,995
Mass Flow kg/hr	3570,139	1190,035	1190,045	1190,06	231,417	958,618	523,503	435,115	202,494	987,551
Volume Flow cum/hr	1,747	0,582	0,582	0,582	0,113	0,469	0,256	0,213	0,099	0,483
Enthalpy MMBtu/hr	-16,98	-5,66	-5,66	-5,66	-1,101	-4,559	-2,49	-2,07	-0,963	-4,697
Mass Flow kg/hr										
WATER	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ARENISCA	237,532	79,176	79,177	79,178	15,397	63,78	34,83	28,949	13,473	65,705
ARCILLO	831,358	277,117	277,119	277,122	53,889	223,228	121,905	101,323	47,154	229,965
LIMONITA	1499,771	499,919	499,923	499,929	97,215	402,703	219,917	182,786	85,065	414,858
BOREVIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ARENA	233,282	77,76	77,76	77,761	15,121	62,638	34,207	28,431	13,231	64,529
LUTITA	768,197	256,063	256,065	256,069	49,795	206,269	112,644	93,625	43,571	212,494

Balance de masa 2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
BARAZAN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CLAYGRAB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
POLIAC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BOREPLUS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
POTASA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ACETATO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BAROID	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CLAYSEAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mole Flow kmol/hr										
WATER	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ARENISCA	1,166	0,389	0,389	0,389	0,076	0,313	0,171	0,142	0,066	0,322
ARCILLO	3,743	1,248	1,248	1,248	0,243	1,005	0,549	0,456	0,212	1,035
LIMONITA	20,875	6,958	6,958	6,958	1,353	5,605	3,061	2,544	1,184	5,774
BOREVIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ARENA	3,883	1,294	1,294	1,294	0,252	1,043	0,569	0,473	0,22	1,074
LUTITA	13,699	4,566	4,566	4,566	0,888	3,678	2,009	1,67	0,777	3,789
BARAZAN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CLAYGRAB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
POLIAC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BOREPLUS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
POTASA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ACETATO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BAROID	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CLAYSEAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Balance de masa 2	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Temperature C	25	25	25	25	25	25	25	25,2	25,2	25,2
Pressure bar	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	3,86	3,86	3,86
Vapor Frac	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mole Flow kmol/hr	1,713	1711,221	1,715	1712,954	1,713	1711,241	5133,667	5133,667	2566,833	2566,833
Mass Flow kg/hr	58,955	58895,941	59,015	58955,604	58,956	58896,648	176688	176688	88344	88344
Volume Flow cum/hr	0,061	60,84	0,061	60,901	0,061	60,84	182,519	182,536	91,268	91,268
Enthalpy MMBtu/hr	-0,439	-438,977	-0,44	-439,421	-0,439	-438,982	-1316,931	-1316,866	-658,433	-658,433
Mass Flow kg/hr										
WATER	28,361	28332,66	28,39	28361,362	28,361	28333	84998,066	84998,066	42499,033	42499,033
ARENISCA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ARCILLO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LIMONITA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BOREVIS	0,729	728,008	0,729	728,746	0,729	728,017	2184,027	2184,027	1092,014	1092,014
ARENA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LUTITA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BARAZAN	0,729	728,008	0,729	728,746	0,729	728,017	2184,027	2184,027	1092,014	1092,014
CLAYGRAB	0,081	80,85	0,081	80,931	0,081	80,851	242,549	242,549	121,274	121,274
POLIAC	0	0,057	0	0,057	0	0,057	0,17	0,17	0,085	0,085
BOREPLUS	0,081	80,85	0,081	80,931	0,081	80,851	242,549	242,549	121,274	121,274
POTASA	0	0,003	0	0,003	0	0,003	0,008	0,008	0,004	0,004
ACETATO	0,324	323,398	0,324	323,726	0,324	323,402	970,196	970,196	485,098	485,098
BAROID	28,327	28298,709	28,356	28327,376	28,327	28299,049	84896,212	84896,212	42448,106	42448,106
CLAYSEAL	0,324	323,398	0,324	323,726	0,324	323,402	970,196	970,196	485,098	485,098
Mole Flow kmol/hr										
WATER	1,574	1572,702	1,576	1574,295	1,574	1572,721	4718,11	4718,11	2359,055	2359,055
ARENISCA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ARCILLO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LIMONITA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BOREVIS	0,007	7,14	0,007	7,147	0,007	7,14	21,42	21,42	10,71	10,71
ARENA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LUTITA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BARAZAN	0,002	2,127	0,002	2,129	0,002	2,127	6,38	6,38	3,19	3,19
CLAYGRAB	0,001	1,137	0,001	1,139	0,001	1,137	3,412	3,412	1,706	1,706
POLIAC	0	0,001	0	0,001	0	0,001	0,002	0,002	0,001	0,001
BOREPLUS	0,001	0,808	0,001	0,808	0,001	0,808	2,423	2,423	1,211	1,211
POTASA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ACETATO	0,003	3,295	0,003	3,299	0,003	3,295	9,886	9,886	4,943	4,943
BAROID	0,121	121,25	0,121	121,373	0,121	121,252	363,752	363,752	181,876	181,876
CLAYSEAL	0,003	2,761	0,003	2,763	0,003	2,761	8,282	8,282	4,141	4,141

Balance de masa 2	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Temperature C	25	25	25	25	25	25	25	25,2	25,2	25,2
Pressure bar	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	3,86	3,86	3,86
Mass VFrac	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mass Flow kg/hr	793,158	59149,289	261,511	59943,166	793,167	59149,999	177629,814	177629,814	88814,907	88814,907
Volume Flow cum/hr	0,42	60,964	0,16	61,385	0,42	60,964	182,98	182,997	91,499	91,499
Enthalpy MMBtu/hr	-3,931	-440,182	-1,403	-444,118	-3,932	-440,187	-1321,41	-1321,345	-660,673	-660,673
Mass Flow kg/hr										
WATER	28,361	28332,66	28,39	28361,362	28,361	28333	84998,066	84998,066	42499,033	42499,033
ARENISCA	48,849	16,856	13,473	65,705	48,849	16,856	62,662	62,662	31,331	31,331
ARCILLO	170,97	58,996	47,154	229,968	170,972	58,996	219,315	219,315	109,657	109,657
LIMONITA	308,429	106,428	85,066	414,863	308,433	106,429	395,644	395,644	197,822	197,822
BOREVIS	0,729	728,008	0,729	728,746	0,729	728,017	2184,027	2184,027	1092,014	1092,014
ARENA	47,975	16,554	13,232	64,53	47,975	16,555	61,54	61,54	30,77	30,77
LUTITA	157,981	54,514	43,572	212,497	157,983	54,514	202,653	202,653	101,326	101,326
BARAZAN	0,729	728,008	0,729	728,746	0,729	728,017	2184,027	2184,027	1092,014	1092,014
CLAYGRAB	0,081	80,85	0,081	80,931	0,081	80,851	242,549	242,549	121,274	121,274
POLIAC	0	0,057	0	0,057	0	0,057	0,17	0,17	0,085	0,085
BOREPLUS	0,081	80,85	0,081	80,931	0,081	80,851	242,549	242,549	121,274	121,274
POTASA	0	0,003	0	0,003	0	0,003	0,008	0,008	0,004	0,004
ACETATO	0,324	323,398	0,324	323,726	0,324	323,402	970,196	970,196	485,098	485,098
BAROID	28,327	28298,709	28,356	28327,376	28,327	28299,049	84896,212	84896,212	42448,106	42448,106
CLAYSEAL	0,324	323,398	0,324	323,726	0,324	323,402	970,196	970,196	485,098	485,098
MASSSFRA	0,926	0,004	0,774	0,016	0,926	0,004	0,005	0,005	0,005	0,005
RHOMX kg/cum	1887,549	970,239	1633,831	976,519	1887,549	970,239	970,761	970,67	970,67	970,67
Temperature C	25	25	25	25	25	25	25	25,2	25,2	25,2
Pressure bar	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	3,86	3,86	3,86
Vapor Frac	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mole Flow kmol/hr	8,918	3,077	2,46	11,995	8,918	3,077	11,44	11,44	5,72	5,72
Mass Flow kg/hr	734,203	253,348	202,497	987,563	734,212	253,351	941,814	941,814	470,907	470,907
Volume Flow cum/hr	0,359	0,124	0,099	0,483	0,359	0,124	0,461	0,461	0,23	0,23
Enthalpy MMBtu/hr	-3,492	-1,205	-0,963	-4,697	-3,492	-1,205	-4,479	-4,479	-2,24	-2,24
Mass Flow kg/hr										
WATER	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ARENISCA	48,849	16,856	13,473	65,705	48,849	16,856	62,662	62,662	31,331	31,331
ARCILLO	170,97	58,996	47,154	229,968	170,972	58,996	219,315	219,315	109,657	109,657
LIMONITA	308,429	106,428	85,066	414,863	308,433	106,429	395,644	395,644	197,822	197,822
BOREVIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ARENA	47,975	16,554	13,232	64,53	47,975	16,555	61,54	61,54	30,77	30,77
LUTITA	157,981	54,514	43,572	212,497	157,983	54,514	202,653	202,653	101,326	101,326

Balance de masa 2	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
BARAZAN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CLAYGRAB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
POLIAC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BOREPLUS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
POTASA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ACETATO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BAROID	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CLAYSEAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mole Flow kmol/hr										
WATER	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ARENISCA	0,24	0,083	0,066	0,322	0,24	0,083	0,308	0,308	0,154	0,154
ARCILLO	0,77	0,266	0,212	1,035	0,77	0,266	0,987	0,987	0,494	0,494
LIMONITA	4,293	1,481	1,184	5,774	4,293	1,481	5,507	5,507	2,753	2,753
BOREVIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ARENA	0,798	0,276	0,22	1,074	0,798	0,276	1,024	1,024	0,512	0,512
LUTITA	2,817	0,972	0,777	3,789	2,817	0,972	3,614	3,614	1,807	1,807
BARAZAN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CLAYGRAB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
POLIAC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BOREPLUS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
POTASA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ACETATO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BAROID	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CLAYSEAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Balance de masa 2	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Temperature C	25.2	25.2	25.2	25.2	25.2	25.2	25.2	25.2	25.2	25.2
Pressure bar	2.92	2.92	2.92	2.92	2.92	3.86	3.13	3.13	3.13	3.13
Vapor Frac	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mole Flow kmol/hr	2395.592	171.241	2395.592	171.241	4791.185	4791.185	4707.327	47.073	4660.254	83.857
Mass Flow kg/hr	82450.308	5893.692	82450.308	5893.692	164900.616	164900.616	162014.454	1620.145	160394.31	2886.161
Volume Flow cum/hr	85.179	6.089	85.179	6.089	170.359	170.364	167.382	1.674	165.708	2.982
Enthalpy MMBtu/hr	-614.507	-43.926	-614.507	-43.926	-1229.014	-1228.993	-1207.483	-12.075	-1195.408	-21.51
Mass Flow kg/hr										
WATER	39663.796	2835.238	39663.796	2835.238	79327.591	79327.591	77939.166	779.392	77159.774	1388.426
ARENISCA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ARCILLO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LIMONITA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BOREVIS	1019.162	72.851	1019.162	72.851	2038.324	2038.324	2002.649	20.026	1982.622	35.676
ARENA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LUTITA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BARAZAN	1019.162	72.851	1019.162	72.851	2038.324	2038.324	2002.649	20.026	1982.622	35.676
CLAYGRAB	113.184	8.091	113.184	8.091	226.368	226.368	222.406	2.224	220.182	3.962
POLIAC	0.079	0.006	0.079	0.006	0.159	0.159	0.156	0.002	0.154	0.003
BOREPLUS	113.184	8.091	113.184	8.091	226.368	226.368	222.406	2.224	220.182	3.962
POTASA	0.004	0	0.004	0	0.008	0.008	0.007	0	0.007	0
ACETATO	452.736	32.362	452.736	32.362	905.471	905.471	889.623	8.896	880.727	15.848
BAROID	39616.266	2831.84	39616.266	2831.84	79232.532	79232.532	77845.77	778.458	77067.312	1386.762
CLAYSEAL	452.736	32.362	452.736	32.362	905.471	905.471	889.623	8.896	880.727	15.848
Mole Flow kmol/hr										
WATER	2201.675	157.38	2201.675	157.38	4403.35	4403.35	4326.281	43.263	4283.018	77.069
ARENISCA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ARCILLO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LIMONITA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BOREVIS	9.996	0.715	9.996	0.715	19.991	19.991	19.641	0.196	19.445	0.35
ARENA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LUTITA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BARAZAN	2.977	0.213	2.977	0.213	5.955	5.955	5.851	0.059	5.792	0.104
CLAYGRAB	1.592	0.114	1.592	0.114	3.185	3.185	3.129	0.031	3.098	0.056
POLIAC	0.001	0	0.001	0	0.002	0.002	0.002	0	0.002	0
BOREPLUS	1.131	0.081	1.131	0.081	2.261	2.261	2.221	0.022	2.199	0.04
POTASA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ACETATO	4.613	0.33	4.613	0.33	9.226	9.226	9.065	0.091	8.974	0.161
BAROID	169.742	12.133	169.742	12.133	339.485	339.485	333.543	3.335	330.207	5.942
CLAYSEAL	3.865	0.276	3.865	0.276	7.729	7.729	7.594	0.076	7.518	0.135

Balance de masa 2	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Temperature C	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2
Pressure bar	2,92	2,92	2,92	2,92	2,92	3,86	3,13	3,13	3,13	3,13
Mass VFrac	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mass Flow kg/hr	82889,147	5925,76	82889,147	5925,76	165778,294	165778,294	162844,331	2224,768	160619,563	2933,963
Volume Flow cum/hr	85,394	6,104	85,394	6,104	170,788	170,794	167,788	1,97	165,819	3,005
Enthalpy MMBtu/hr	-616,594	-44,079	-616,594	-44,079	-1233,188	-1233,168	-1211,43	-14,95	-1196,479	-21,738
Mass Flow kg/hr										
WATER	39663,796	2835,238	39663,796	2835,238	79327,591	79327,591	77939,166	779,392	77159,774	1388,426
ARENISCA	29,197	2,134	29,197	2,134	58,395	58,395	55,214	40,227	14,987	3,18
ARCILLO	102,19	7,467	102,19	7,467	204,38	204,38	193,249	140,795	52,453	11,131
LIMONITA	184,351	13,471	184,351	13,471	368,702	368,702	348,621	253,995	94,626	20,081
BOREVIS	1019,162	72,851	1019,162	72,851	2038,324	2038,324	2002,649	20,026	1982,622	35,676
ARENA	28,675	2,095	28,675	2,095	57,35	57,35	54,226	39,508	14,719	3,123
LUTITA	94,426	6,9	94,426	6,9	188,853	188,853	178,567	130,099	48,468	10,286
BARAZAN	1019,162	72,851	1019,162	72,851	2038,324	2038,324	2002,649	20,026	1982,622	35,676
CLAYGRAB	113,184	8,091	113,184	8,091	226,368	226,368	222,406	2,224	220,182	3,962
POLIAC	0,079	0,006	0,079	0,006	0,159	0,159	0,156	0,002	0,154	0,003
BOREPLUS	113,184	8,091	113,184	8,091	226,368	226,368	222,406	2,224	220,182	3,962
POTASA	0,004	0	0,004	0	0,008	0,008	0,007	0	0,007	0
ACETATO	452,736	32,362	452,736	32,362	905,471	905,471	889,623	8,896	880,727	15,848
BAROID	39616,266	2831,84	39616,266	2831,84	79232,532	79232,532	77845,77	778,458	77067,312	1386,762
CLAYSEAL	452,736	32,362	452,736	32,362	905,471	905,471	889,623	8,896	880,727	15,848
MASSFRA	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,272	0,001	0,016
RHOMX kg/cum	970,666	970,726	970,666	970,726	970,666	970,636	970,534	1129,489	968,646	976,303
Temperature C	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2
Pressure bar	2,92	2,92	2,92	2,92	2,92	3,86	3,13	3,13	3,13	3,13
Vapor Frac	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mole Flow kmol/hr	5,33	0,39	5,33	0,39	10,661	10,661	10,08	7,344	2,736	0,581
Mass Flow kg/hr	438,839	32,067	438,839	32,067	877,679	877,679	829,877	604,624	225,253	47,802
Volume Flow cum/hr	0,215	0,016	0,215	0,016	0,43	0,43	0,406	0,296	0,11	0,023
Enthalpy MMBtu/hr	-2,087	-0,153	-2,087	-0,153	-4,174	-4,174	-3,947	-2,876	-1,071	-0,227
Mass Flow kg/hr										
WATER	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ARENISCA	29,197	2,134	29,197	2,134	58,395	58,395	55,214	40,227	14,987	3,18
ARCILLO	102,19	7,467	102,19	7,467	204,38	204,38	193,249	140,795	52,453	11,131
LIMONITA	184,351	13,471	184,351	13,471	368,702	368,702	348,621	253,995	94,626	20,081
BOREVIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ARENA	28,675	2,095	28,675	2,095	57,35	57,35	54,226	39,508	14,719	3,123
LUTITA	94,426	6,9	94,426	6,9	188,853	188,853	178,567	130,099	48,468	10,286

Balance de masa 2	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
BARAZAN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CLAYGRAB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
POLIAC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BOREPLUS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
POTASA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ACETATO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BAROID	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CLAYSEAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mole Flow kmol/hr										
WATER	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ARENISCA	0,143	0,01	0,143	0,01	0,287	0,287	0,271	0,197	0,074	0,016
ARCILLO	0,46	0,034	0,46	0,034	0,92	0,92	0,87	0,634	0,236	0,05
LIMONITA	2,566	0,187	2,566	0,187	5,132	5,132	4,852	3,535	1,317	0,279
BOREVIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ARENA	0,477	0,035	0,477	0,035	0,954	0,954	0,903	0,658	0,245	0,052
LUTITA	1,684	0,123	1,684	0,123	3,368	3,368	3,184	2,32	0,864	0,183
BARAZAN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CLAYGRAB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
POLIAC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BOREPLUS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
POTASA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ACETATO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BAROID	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CLAYSEAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Balance de masa 2	31	32	33	34	ARCI	ARE	ARENA	FP	LIMO	LUTI
Temperature C	25.2	25.2	25.2	25.2				25		
Pressure bar	3.13	3.13	3.13	3.13	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
Vapor Frac	0	0	0	0				0		
Mole Flow kmol/hr	0.054	4660.2	0.05	4660.15	0	0	0	5143.95	0	0
Mass Flow kg/hr	1.843	160392.467	1.73	160390.737	0	0	0	177041.907	0	0
Volume Flow cum/hr	0.002	165.706	0.002	165.705	0	0	0	182.885	0	0
Enthalpy MMBtu/hr	-0.014	-1195.394	-0.013	-1195.381				-1319.569		
Mass Flow kg/hr										
WATER	0.886	77158.887	0.832	77158.055	0	0	0	85168.318	0	0
ARENISCA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ARCILLO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LIMONITA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BOREVIS	0.023	1982.599	0.021	1982.578	0	0	0	2188.402	0	0
ARENA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LUTITA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BARAZAN	0.023	1982.599	0.021	1982.578	0	0	0	2188.402	0	0
CLAYGRAB	0.003	220.179	0.002	220.177	0	0	0	243.035	0	0
POLIAC	0	0.154	0	0.154	0	0	0	0.17	0	0
BOREPLUS	0.003	220.179	0.002	220.177	0	0	0	243.035	0	0
POTASA	0	0.007	0	0.007	0	0	0	0.008	0	0
ACETATO	0.01	880.717	0.01	880.707	0	0	0	972.139	0	0
BAROID	0.885	77066.427	0.831	77065.596	0	0	0	85066.26	0	0
CLAYSEAL	0.01	880.717	0.01	880.707	0	0	0	972.139	0	0
Mole Flow kmol/hr										
WATER	0.049	4282.969	0.046	4282.923	0	0	0	4727.56	0	0
ARENISCA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ARCILLO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LIMONITA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BOREVIS	0	19.445	0	19.444	0	0	0	21.463	0	0
ARENA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LUTITA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BARAZAN	0	5.792	0	5.792	0	0	0	6.393	0	0
CLAYGRAB	0	3.098	0	3.098	0	0	0	3.419	0	0
POLIAC	0	0.002	0	0.002	0	0	0	0.002	0	0
BOREPLUS	0	2.199	0	2.199	0	0	0	2.428	0	0
POTASA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ACETATO	0	8.974	0	8.974	0	0	0	9.905	0	0
BAROID	0.004	330.204	0.004	330.2	0	0	0	364.48	0	0
CLAYSEAL	0	7.518	0	7.518	0	0	0	8.298	0	0

Balance de masa 2	31	32	33	34	ARCI	ARE	ARENA	FP	LIMO	LUTI
Temperature C	25.2	25.2	25.2	25.2	25	25	25	25	25	25
Pressure bar	3.13	3.13	3.13	3.13	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
Mass VFrac	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mass Flow kg/hr	46.064	160573.499	43.258	160530.241	831.358	237.532	233.282	177041.907	1499.771	768.197
Volume Flow cum/hr	0.024	165.795	0.022	165.773	0.815	0.233	0.116	182.885	0.349	0.233
Enthalpy MMBtu/hr	-0.224	-1196.255	-0.21	-1196.045	0	0	-3.352	-1319.569	-5.382	-8.246
Mass Flow kg/hr										
WATER	0.886	77158.887	0.832	77158.055	0	0	0	85168.318	0	0
ARENISCA	2.942	12.045	2.763	9.282	0	237.532	0	0	0	0
ARCILLO	10.298	42.156	9.67	32.486	831.358	0	0	0	0	0
LIMONITA	18.577	76.049	17.445	58.604	0	0	0	0	1499.771	0
BOREVIS	0.023	1982.599	0.021	1982.578	0	0	0	2188.402	0	0
ARENA	2.89	11.829	2.713	9.116	0	0	233.282	0	0	0
LUTITA	9.515	38.953	8.936	30.018	0	0	0	0	0	768.197
BARAZAN	0.023	1982.599	0.021	1982.578	0	0	0	2188.402	0	0
CLAYGRAB	0.003	220.179	0.002	220.177	0	0	0	243.035	0	0
POLIAC	0	0.154	0	0.154	0	0	0	0.17	0	0
BOREPLUS	0.003	220.179	0.002	220.177	0	0	0	243.035	0	0
POTASA	0	0.007	0	0.007	0	0	0	0.008	0	0
ACETATO	0.01	880.717	0.01	880.707	0	0	0	972.139	0	0
BAROID	0.885	77066.427	0.831	77065.596	0	0	0	85066.26	0	0
CLAYSEAL	0.01	880.717	0.01	880.707	0	0	0	972.139	0	0
MASSSFRA	0.96	0.001	0.96	0.001	1	1	1	0	1	1
RHOMX kg/cum	1956.447	968.506	1956.447	968.374	1019.646	1019.65	2002.81	968.052	4292.032	3297.632
Temperature C	25.2	25.2	25.2	25.2	25	25	25	25	25	25
Pressure bar	3.13	3.13	3.13	3.13	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
Vapor Frac	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mole Flow kmol/hr	0.537	2.199	0.504	1.694	3.743	1.166	3.883	0	20.875	13.699
Mass Flow kg/hr	44.222	181.032	41.527	139.504	831.358	237.532	233.282	0	1499.771	768.197
Volume Flow cum/hr	0.022	0.089	0.02	0.068	0.815	0.233	0.116	0	0.349	0.233
Enthalpy MMBtu/hr	-0.21	-0.861	-0.198	-0.663	0	0	-3.352		-5.382	-8.246
Mass Flow kg/hr										
WATER	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ARENISCA	2.942	12.045	2.763	9.282	0	237.532	0	0	0	0
ARCILLO	10.298	42.156	9.67	32.486	831.358	0	0	0	0	0
LIMONITA	18.577	76.049	17.445	58.604	0	0	0	0	1499.771	0
BOREVIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ARENA	2.89	11.829	2.713	9.116	0	0	233.282	0	0	0
LUTITA	9.515	38.953	8.936	30.018	0	0	0	0	0	768.197

Balance de masa 2	31	32	33	34	ARCI	ARE	ARENA	FP	LIMO	LUTI
BARAZAN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CLAYGRAB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
POLIAC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BOREPLUS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
POTASA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ACETATO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BAROID	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CLAYSEAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mole Flow kmol/hr										
WATER	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ARENISCA	0,014	0,059	0,014	0,046	0	1,166	0	0	0	0
ARCILLO	0,046	0,19	0,044	0,146	3,743	0	0	0	0	0
LIMONITA	0,259	1,058	0,243	0,816	0	0	0	0	20,875	0
BOREVIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ARENA	0,048	0,197	0,045	0,152	0	0	3,883	0	0	0
LUTITA	0,17	0,695	0,159	0,535	0	0	0	0	0	13,699
BARAZAN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CLAYGRAB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
POLIAC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BOREPLUS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
POTASA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ACETATO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BAROID	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CLAYSEAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Balance de masa 3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Temperature C	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Pressure bar	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
Vapor Frac	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mole Flow kmol/hr	801,897	267,296	267,299	267,302	0,267	267,029	0,267	266,762	0,267	267,031	0,267	266,764	0,267
Mass Flow kg/hr	41990,783	13996,788	13996,914	13997,082	13,997	13982,791	13,983	13968,808	13,997	13982,917	13,983	13968,934	13,997
Volume Flow cum/hr	90,577	30,192	30,192	30,193	0,03	30,162	0,03	30,132	0,03	30,162	0,03	30,132	0,03
Enthalpy MMBtu/hr	-138,724	-46,241	-46,241	-46,242	-0,046	-46,195	-0,046	-46,149	-0,046	-46,195	-0,046	-46,149	-0,046
Mass Flow kg/hr													
WATER	8434,097	2811,337	2811,363	2811,396	2,811	2808,526	2,809	2805,718	2,811	2808,551	2,809	2805,743	2,811
ARENISCA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ARCILLO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LIMONITA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ARENA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LUTITA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BARADEF0	4,086	1,362	1,362	1,362	0,001	1,361	0,001	1,359	0,001	1,361	0,001	1,359	0,001
N-VIS	30,339	10,113	10,113	10,113	0,01	10,103	0,01	10,093	0,01	10,103	0,01	10,093	0,01
N-DRIL	144,413	48,137	48,138	48,138	0,048	48,089	0,048	48,041	0,048	48,09	0,048	48,041	0,048
BARABUF	24,069	8,023	8,023	8,023	0,008	8,015	0,008	8,007	0,008	8,015	0,008	8,007	0,008
BARACARB	722,268	240,754	240,756	240,759	0,241	240,513	0,241	240,272	0,241	240,515	0,241	240,275	0,241
KCL	252,824	84,274	84,275	84,276	0,084	84,19	0,084	84,105	0,084	84,19	0,084	84,106	0,084
ALDACIDE	17,192	5,731	5,731	5,731	0,006	5,725	0,006	5,719	0,006	5,725	0,006	5,719	0,006
CARBONAT	32361,496	10787,057	10787,155	10787,284	10,787	10776,27	10,776	10765,494	10,787	10776,367	10,776	10765,591	10,787
Mole Flow kmol/hr													
WATER	468,163	156,053	156,054	156,056	0,156	155,897	0,156	155,741	0,156	155,898	0,156	155,742	0,156
ARENISCA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ARCILLO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LIMONITA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ARENA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LUTITA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BARADEF0	0,044	0,015	0,015	0,015	0	0,015	0	0,015	0	0,015	0	0,015	0
N-VIS	0,089	0,03	0,03	0,03	0	0,03	0	0,029	0	0,03	0	0,029	0
N-DRIL	0,802	0,267	0,267	0,267	0	0,267	0	0,267	0	0,267	0	0,267	0
BARABUF	0,597	0,199	0,199	0,199	0	0,199	0	0,199	0	0,199	0	0,199	0
BARACARB	5,305	1,768	1,768	1,768	0,002	1,767	0,002	1,765	0,002	1,767	0,002	1,765	0,002
KCL	3,391	1,13	1,13	1,13	0,001	1,129	0,001	1,128	0,001	1,129	0,001	1,128	0,001
ALDACIDE	0,172	0,057	0,057	0,057	0	0,057	0	0,057	0	0,057	0	0,057	0
CARBONAT	323,333	107,777	107,778	107,779	0,108	107,669	0,108	107,561	0,108	107,67	0,108	107,562	0,108
Temperature C	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25

Balance de masa 3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Pressure bar	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
Mass VFrac	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mass Flow kg/hr	42407,581	14135,719	14135,846	14136,016	40,63	14095,089	87,811	14007,279	36,14	14099,706	111,589	13988,117	36,141
Volume Flow cum/hr	90,76	30,253	30,253	30,254	0,042	30,211	0,063	30,149	0,04	30,213	0,073	30,14	0,04
Enthalpy MMBtu/hr	-141,729	-47,243	-47,243	-47,244	-0,238	-47,004	-0,578	-46,426	-0,206	-47,037	-0,75	-46,287	-0,206
Mass Flow kg/hr													
WATER	8434,097	2811,337	2811,363	2811,396	2,811	2808,526	2,809	2805,718	2,811	2808,551	2,809	2805,743	2,811
ARENISCA	53,304	17,768	17,768	17,768	3,406	14,362	9,442	4,92	2,832	14,936	12,483	2,453	2,832
ARCILLO	26,64	8,88	8,88	8,88	1,702	7,178	4,719	2,459	1,415	7,465	6,239	1,226	1,415
LIMONITA	112,138	37,379	37,379	37,38	7,165	30,213	19,863	10,35	5,958	31,422	26,26	5,161	5,958
ARENA	52,327	17,442	17,442	17,443	3,344	14,099	9,269	4,83	2,78	14,662	12,254	2,408	2,78
LUTITA	172,389	57,462	57,463	57,464	11,015	46,447	30,535	15,911	9,159	48,304	40,37	7,934	9,159
BARADEFO	4,086	1,362	1,362	1,362	0,001	1,361	0,001	1,359	0,001	1,361	0,001	1,359	0,001
N-VIS	30,339	10,113	10,113	10,113	0,01	10,103	0,01	10,093	0,01	10,103	0,01	10,093	0,01
N-DRIL	144,413	48,137	48,138	48,138	0,048	48,089	0,048	48,041	0,048	48,09	0,048	48,041	0,048
BARABUF	24,069	8,023	8,023	8,023	0,008	8,015	0,008	8,007	0,008	8,015	0,008	8,007	0,008
BARACARB	722,268	240,754	240,756	240,759	0,241	240,513	0,241	240,272	0,241	240,515	0,241	240,275	0,241
KCL	252,824	84,274	84,275	84,276	0,084	84,19	0,084	84,105	0,084	84,19	0,084	84,106	0,084
ALDACIDE	17,192	5,731	5,731	5,731	0,006	5,725	0,006	5,719	0,006	5,725	0,006	5,719	0,006
CARBONAT	32361,496	10787,057	10787,155	10787,284	10,787	10776,27	10,776	10765,494	10,787	10776,367	10,776	10765,591	10,787
MASSSFRA	0,01	0,01	0,01	0,01	0,656	0,008	0,841	0,003	0,613	0,008	0,875	0,001	0,613
RHOMX kg/cum	467,248	467,248	467,248	467,248	970,112	466,551	1403,506	464,607	905,518	466,669	1528,577	464,097	905,518
Temperature C	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Pressure bar	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
Vapor Frac	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mole Flow kmol/hr	5,887	1,962	1,962	1,962	0,376	1,586	1,043	0,543	0,313	1,65	1,379	0,271	0,313
Mass Flow kg/hr	416,798	138,931	138,932	138,934	26,633	112,298	73,828	38,47	22,143	116,789	97,606	19,183	22,144
Volume Flow cum/hr	0,183	0,061	0,061	0,061	0,012	0,049	0,032	0,017	0,01	0,051	0,043	0,008	0,01
Enthalpy MMBtu/hr	-3,005	-1,002	-1,002	-1,002	-0,192	-0,81	-0,532	-0,277	-0,16	-0,842	-0,704	-0,138	-0,16
Mass Flow kg/hr													
WATER	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ARENISCA	53,304	17,768	17,768	17,768	3,406	14,362	9,442	4,92	2,832	14,936	12,483	2,453	2,832
ARCILLO	26,64	8,88	8,88	8,88	1,702	7,178	4,719	2,459	1,415	7,465	6,239	1,226	1,415
LIMONITA	112,138	37,379	37,379	37,38	7,165	30,213	19,863	10,35	5,958	31,422	26,26	5,161	5,958
ARENA	52,327	17,442	17,442	17,443	3,344	14,099	9,269	4,83	2,78	14,662	12,254	2,408	2,78
LUTITA	172,389	57,462	57,463	57,464	11,015	46,447	30,535	15,911	9,159	48,304	40,37	7,934	9,159
BARADEFO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N-VIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Balance de masa 3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
N-DRIL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BARABUF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BARACARB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
KCL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ALDACIDE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CARBONAT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mole Flow kmol/hr													
WATER	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ARENISCA	0,262	0,087	0,087	0,087	0,017	0,07	0,046	0,024	0,014	0,073	0,061	0,012	0,014
ARCILLO	0,12	0,04	0,04	0,04	0,008	0,032	0,021	0,011	0,006	0,034	0,028	0,006	0,006
LIMONITA	1,561	0,52	0,52	0,52	0,1	0,421	0,276	0,144	0,083	0,437	0,366	0,072	0,083
ARENA	0,871	0,29	0,29	0,29	0,056	0,235	0,154	0,08	0,046	0,244	0,204	0,04	0,046
LUTITA	3,074	1,025	1,025	1,025	0,196	0,828	0,545	0,284	0,163	0,861	0,72	0,141	0,163
BARADEFO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N-VIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N-DRIL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BARABUF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BARACARB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
KCL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ALDACIDE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CARBONAT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Balance de masa 3	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Temperature C	25	25	25	25	25,3	25,3	25,3	25,3	25,3	25,3	25,3	25,3	25,3
Pressure bar	1,01	1,01	1,01	1,01	2,43	2,43	2,43	2,32	2,32	2,32	2,32	2,32	2,43
Vapor Frac	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mole Flow kmol/hr	267,034	0,267	266,767	800,294	800,294	400,147	400,147	364,638	35,508	364,638	35,508	729,277	729,277
Mass Flow kg/hr	13983,08	13,983	13969,10	41906,84	41906,84	20953,42	20953,42	19094,05	1859,37	19094,05	1859,37	38188,1	38188,1
Volume Flow cum/hr	30,163	0,03	30,132	90,396	90,403	45,202	45,202	41,19	4,011	41,19	4,011	82,381	82,381
Enthalpy MMBtu/hr	-46,196	-0,046	-46,15	-138,447	-138,43	-69,215	-69,215	-63,073	-6,142	-63,073	-6,142	-126,146	-126,144
Mass Flow kg/hr													
WATER	2808,585	2,809	2805,776	8417,237	8417,237	4208,618	4208,618	3835,153	373,466	3835,153	373,466	7670,305	7670,305
ARENISCA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ARCILLO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LIMONITA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ARENA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LUTITA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BARADEF0	1,361	0,001	1,359	4,077	4,077	2,039	2,039	1,858	0,181	1,858	0,181	3,716	3,716
N-VIS	10,103	0,01	10,093	30,278	30,278	15,139	15,139	13,796	1,343	13,796	1,343	27,591	27,591
N-DRIL	48,09	0,048	48,042	144,124	144,124	72,062	72,062	65,668	6,395	65,668	6,395	131,335	131,335
BARABUF	8,015	0,008	8,007	24,021	24,021	12,01	12,01	10,945	1,066	10,945	1,066	21,889	21,889
BARACARB	240,518	0,241	240,277	720,824	720,824	360,412	360,412	328,43	31,982	328,43	31,982	656,86	656,86
KCL	84,191	0,084	84,107	252,319	252,319	126,159	126,159	114,964	11,195	114,964	11,195	229,928	229,928
ALDACIDE	5,725	0,006	5,719	17,158	17,158	8,579	8,579	7,818	0,761	7,818	0,761	15,635	15,635
CARBONAT	10776,49	10,776	10765,72	32296,80	32296,80	16148,40	16148,40	14715,42	1432,98	14715,42	1432,98	29430,84	29430,84
Mole Flow kmol/hr													
WATER	155,9	0,156	155,744	467,228	467,228	233,614	233,614	212,883	20,731	212,883	20,731	425,767	425,767
ARENISCA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ARCILLO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LIMONITA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ARENA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LUTITA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BARADEF0	0,015	0	0,015	0,044	0,044	0,022	0,022	0,02	0,002	0,02	0,002	0,04	0,04
N-VIS	0,03	0	0,029	0,088	0,088	0,044	0,044	0,04	0,004	0,04	0,004	0,081	0,081
N-DRIL	0,267	0	0,267	0,8	0,8	0,4	0,4	0,365	0,035	0,365	0,035	0,729	0,729
BARABUF	0,199	0	0,199	0,596	0,596	0,298	0,298	0,272	0,026	0,272	0,026	0,543	0,543
BARACARB	1,767	0,002	1,765	5,295	5,295	2,647	2,647	2,412	0,235	2,412	0,235	4,825	4,825
KCL	1,129	0,001	1,128	3,385	3,385	1,692	1,692	1,542	0,15	1,542	0,15	3,084	3,084
ALDACIDE	0,057	0	0,057	0,171	0,171	0,086	0,086	0,078	0,008	0,078	0,008	0,156	0,156
CARBONAT	107,671	0,108	107,563	322,687	322,687	161,343	161,343	147,026	14,317	147,026	14,317	294,052	294,052
Temperature C	25	25	25	25	25,3	25,3	25,3	25,3	25,3	25,3	25,3	25,3	25,3

Balance de masa 3	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Pressure bar	1,01	1,01	1,01	1,01	2,43	2,43	2,43	2,32	2,32	2,32	2,32	2,32	2,43
Mass VFrac	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mass Flow kg/hr	14099,875	111,59	13988,285	41983,68	41983,68	20991,84	20991,84	19129,103	1862,737	19129,103	1862,737	38258,206	38258,206
Volume Flow cum/hr	30,214	0,073	30,141	90,43	90,437	45,218	45,218	41,206	4,013	41,206	4,013	82,412	82,412
Enthalpy MMBtu/hr	-47,038	-0,75	-46,288	-139,001	-138,983	-69,492	-69,492	-63,325	-6,166	-63,325	-6,166	-126,651	-126,65
Mass Flow kg/hr													
WATER	2808,585	2,809	2805,776	8417,237	8417,237	4208,618	4208,618	3835,153	373,466	3835,153	373,466	7670,305	7670,305
ARENISCA	14,936	12,483	2,453	9,827	9,827	4,913	4,913	4,483	0,43	4,483	0,43	8,966	8,966
ARCILLO	7,465	6,239	1,226	4,911	4,911	2,456	2,456	2,24	0,215	2,24	0,215	4,481	4,481
LIMONITA	31,422	26,261	5,161	20,673	20,673	10,336	10,336	9,431	0,905	9,431	0,905	18,862	18,862
ARENA	14,663	12,254	2,408	9,647	9,647	4,823	4,823	4,401	0,422	4,401	0,422	8,802	8,802
LUTITA	48,305	40,371	7,934	31,78	31,78	15,89	15,89	14,498	1,392	14,498	1,392	28,996	28,996
BARADEFO	1,361	0,001	1,359	4,077	4,077	2,039	2,039	1,858	0,181	1,858	0,181	3,716	3,716
N-VIS	10,103	0,01	10,093	30,278	30,278	15,139	15,139	13,796	1,343	13,796	1,343	27,591	27,591
N-DRIL	48,09	0,048	48,042	144,124	144,124	72,062	72,062	65,668	6,395	65,668	6,395	131,335	131,335
BARABUF	8,015	0,008	8,007	24,021	24,021	12,01	12,01	10,945	1,066	10,945	1,066	21,889	21,889
BARACARB	240,518	0,241	240,277	720,824	720,824	360,412	360,412	328,43	31,982	328,43	31,982	656,86	656,86
KCL	84,191	0,084	84,107	252,319	252,319	126,159	126,159	114,964	11,195	114,964	11,195	229,928	229,928
ALDACIDE	5,725	0,006	5,719	17,158	17,158	8,579	8,579	7,818	0,761	7,818	0,761	15,635	15,635
CARBONAT	10776,497	10,776	10765,72	32296,805	32296,805	16148,403	16148,403	14715,42	1432,982	14715,42	1432,982	29430,84	29430,84
MASSSFRA	0,008	0,875	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
RHOMX kg/cum	466,669	1528,577	464,097	464,267	464,232	464,232	464,232	464,233	464,224	464,233	464,224	464,233	464,231
Temperature C	25	25	25	25	25,3	25,3	25,3	25,3	25,3	25,3	25,3	25,3	25,3
Pressure bar	1,01	1,01	1,01	1,01	2,43	2,43	2,43	2,32	2,32	2,32	2,32	2,32	2,43
Vapor Frac	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mole Flow kmol/hr	1,65	1,379	0,271	1,085	1,085	0,543	0,543	0,495	0,048	0,495	0,048	0,99	0,99
Mass Flow kg/hr	116,79	97,607	19,183	76,837	76,837	38,418	38,418	35,053	3,365	35,053	3,365	70,106	70,106
Volume Flow cum/hr	0,051	0,043	0,008	0,034	0,034	0,017	0,017	0,015	0,001	0,015	0,001	0,031	0,031
Enthalpy MMBtu/hr	-0,842	-0,704	-0,138	-0,554	-0,554	-0,277	-0,277	-0,253	-0,024	-0,253	-0,024	-0,505	-0,505
Mass Flow kg/hr													
WATER	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ARENISCA	14,936	12,483	2,453	9,827	9,827	4,913	4,913	4,483	0,43	4,483	0,43	8,966	8,966
ARCILLO	7,465	6,239	1,226	4,911	4,911	2,456	2,456	2,24	0,215	2,24	0,215	4,481	4,481
LIMONITA	31,422	26,261	5,161	20,673	20,673	10,336	10,336	9,431	0,905	9,431	0,905	18,862	18,862
ARENA	14,663	12,254	2,408	9,647	9,647	4,823	4,823	4,401	0,422	4,401	0,422	8,802	8,802
LUTITA	48,305	40,371	7,934	31,78	31,78	15,89	15,89	14,498	1,392	14,498	1,392	28,996	28,996
BARADEFO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N-VIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Balance de masa 3	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
N-DRIL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BARABUF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BARACARB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
KCL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ALDACIDE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CARBONAT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mole Flow kmol/hr													
WATER	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ARENISCA	0,073	0,061	0,012	0,048	0,048	0,024	0,024	0,022	0,002	0,022	0,002	0,044	0,044
ARCILLO	0,034	0,028	0,006	0,022	0,022	0,011	0,011	0,01	0,001	0,01	0,001	0,02	0,02
LIMONITA	0,437	0,366	0,072	0,288	0,288	0,144	0,144	0,131	0,013	0,131	0,013	0,263	0,263
ARENA	0,244	0,204	0,04	0,161	0,161	0,08	0,08	0,073	0,007	0,073	0,007	0,146	0,146
LUTITA	0,861	0,72	0,141	0,567	0,567	0,283	0,283	0,259	0,025	0,259	0,025	0,517	0,517
BARADEF0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N-VIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N-DRIL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BARABUF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BARACARB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
KCL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ALDACIDE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CARBONAT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Balance de masa 3	27	28	29	30	31	32	33	34	ARCI	ARE	ARENA	FP	LIMO	LUTI
Temperature C	25,3	25,3	25,3	25,3	25,3	25,3	25,3	25,3				25		
Pressure bar	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
Vapor Frac	0	0	0	0	0	0	0	0				0		
Mole Flow kmol/hr	711,819	7,118	704,701	17,457	0,003	704,699	0,003	704,696	0	0	0	801,897	0	0
Mass Flow kg/hr	37273,957	372,74	36901,218	914,143	0,132	36901,086	0,134	36900,952	0	0	0	41990,783	0	0
Volume Flow cum/hr	80,409	0,804	79,605	1,972	0	79,605	0	79,605	0	0	0	90,577	0	0
Enthalpy MMBtu/hr	-123,125	-1,231	-121,893	-3,02	0	-121,893	0	-121,893				-138,724		
Mass Flow kg/hr														
WATER	7486,694	74,867	7411,827	183,611	0,026	7411,801	0,027	7411,774	0	0	0	8434,097	0	0
ARENISCA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ARCILLO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LIMONITA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ARENA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LUTITA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BARADEF0	3,627	0,036	3,59	0,089	0	3,59	0	3,59	0	0	0	4,086	0	0
N-VIS	26,931	0,269	26,662	0,66	0	26,662	0	26,661	0	0	0	30,339	0	0
N-DRIL	128,191	1,282	126,909	3,144	0	126,909	0	126,908	0	0	0	144,413	0	0
BARABUF	21,365	0,214	21,152	0,524	0	21,151	0	21,151	0	0	0	24,069	0	0
BARACARB	641,136	6,411	634,724	15,724	0,002	634,722	0,002	634,72	0	0	0	722,268	0	0
KCL	224,424	2,244	222,18	5,504	0,001	222,179	0,001	222,179	0	0	0	252,824	0	0
ALDACIDE	15,261	0,153	15,108	0,374	0	15,108	0	15,108	0	0	0	17,192	0	0
CARBONAT	28726,328	287,263	28439,065	704,512	0,102	28438,963	0,103	28438,86	0	0	0	32361,496	0	0
Mole Flow kmol/hr														
WATER	415,575	4,156	411,419	10,192	0,001	411,417	0,001	411,416	0	0	0	468,163	0	0
ARENISCA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ARCILLO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LIMONITA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ARENA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LUTITA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BARADEF0	0,039	0	0,039	0,001	0	0,039	0	0,039	0	0	0	0,044	0	0
N-VIS	0,079	0,001	0,078	0,002	0	0,078	0	0,078	0	0	0	0,089	0	0
N-DRIL	0,712	0,007	0,704	0,017	0	0,704	0	0,704	0	0	0	0,802	0	0
BARABUF	0,53	0,005	0,525	0,013	0	0,525	0	0,525	0	0	0	0,597	0	0
BARACARB	4,709	0,047	4,662	0,115	0	4,662	0	4,662	0	0	0	5,305	0	0
KCL	3,01	0,03	2,98	0,074	0	2,98	0	2,98	0	0	0	3,391	0	0
ALDACIDE	0,152	0,002	0,151	0,004	0	0,151	0	0,151	0	0	0	0,172	0	0
CARBONAT	287,013	2,87	284,143	7,039	0,001	284,142	0,001	284,141	0	0	0	323,333	0	0
Temperature C	25,3	25,3	25,3	25,3	25,3	25,3	25,3	25,3	25	25	25	25	25	25

Balance de masa 3	27	28	29	30	31	32	33	34	ARCI	ARE	ARENA	FP	LIMO	LUTI
Pressure bar	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
Mass VFrac	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mass Flow kg/hr	37342,372	422,443	36919,929	915,835	3,295	36916,633	3,345	36913,289	26,64	53,304	52,327	41990,783	112,138	172,389
Volume Flow cum/hr	80,439	0,826	79,613	1,973	0,002	79,612	0,002	79,61	0,026	0,052	0,026	90,577	0,026	0,052
Enthalpy MMBtu/hr	-123,618	-1,59	-122,028	-3,032	-0,023	-122,005	-0,024	-121,981	0	0	-0,752	-138,724	-0,402	-1,85
Mass Flow kg/hr														
WATER	7486,694	74,867	7411,827	183,611	0,026	7411,801	0,027	7411,774	0	0	0	8434,097	0	0
ARENISCA	8,749	6,356	2,393	0,216	0,405	1,988	0,411	1,578	0	53,304	0	0	0	0
ARCILLO	4,373	3,177	1,196	0,108	0,202	0,994	0,205	0,789	26,64	0	0	0	0	0
LIMONITA	18,407	13,372	5,034	0,455	0,851	4,183	0,864	3,319	0	0	0	0	112,138	0
ARENA	8,589	6,24	2,349	0,212	0,397	1,952	0,403	1,549	0	0	52,327	0	0	0
LUTITA	28,296	20,557	7,739	0,7	1,308	6,431	1,328	5,102	0	0	0	0	0	172,389
BARADEFO	3,627	0,036	3,59	0,089	0	3,59	0	3,59	0	0	0	4,086	0	0
N-VIS	26,931	0,269	26,662	0,66	0	26,662	0	26,661	0	0	0	30,339	0	0
N-DRIL	128,191	1,282	126,909	3,144	0	126,909	0	126,908	0	0	0	144,413	0	0
BARABUF	21,365	0,214	21,152	0,524	0	21,151	0	21,151	0	0	0	24,069	0	0
BARACARB	641,136	6,411	634,724	15,724	0,002	634,722	0,002	634,72	0	0	0	722,268	0	0
KCL	224,424	2,244	222,18	5,504	0,001	222,179	0,001	222,179	0	0	0	252,824	0	0
ALDACIDE	15,261	0,153	15,108	0,374	0	15,108	0	15,108	0	0	0	17,192	0	0
CARBONAT	28726,328	287,263	28439,065	704,512	0,102	28438,963	0,103	28438,86	0	0	0	32361,496	0	0
MASSSFRA	0,002	0,118	0,001	0,002	0,96	0	0,96	0	1	1	1	0	1	1
RHOMX kg/cum	464,23	511,489	463,74	464,236	1969,911	463,709	1969,911	463,676	1019,646	1019,65	2002,81	463,59	4292,032	3297,632
Temperature C	25,3	25,3	25,3	25,3	25,3	25,3	25,3	25,3	25	25	25	25	25	25
Pressure bar	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
Vapor Frac	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mole Flow kmol/hr	0,966	0,702	0,264	0,024	0,045	0,22	0,045	0,174	0,12	0,262	0,871	0	1,561	3,074
Mass Flow kg/hr	68,414	49,703	18,711	1,692	3,164	15,548	3,211	12,337	26,64	53,304	52,327	0	112,138	172,389
Volume Flow cum/hr	0,03	0,022	0,008	0,001	0,001	0,007	0,001	0,005	0,026	0,052	0,026	0	0,026	0,052
Enthalpy MMBtu/hr	-0,493	-0,358	-0,135	-0,012	-0,023	-0,112	-0,023	-0,089	0	0	-0,752		-0,402	-1,85
Mass Flow kg/hr														
WATER	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ARENISCA	8,749	6,356	2,393	0,216	0,405	1,988	0,411	1,578	0	53,304	0	0	0	0
ARCILLO	4,373	3,177	1,196	0,108	0,202	0,994	0,205	0,789	26,64	0	0	0	0	0
LIMONITA	18,407	13,372	5,034	0,455	0,851	4,183	0,864	3,319	0	0	0	0	112,138	0
ARENA	8,589	6,24	2,349	0,212	0,397	1,952	0,403	1,549	0	0	52,327	0	0	0
LUTITA	28,296	20,557	7,739	0,7	1,308	6,431	1,328	5,102	0	0	0	0	0	172,389
BARADEFO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N-VIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Balance de masa 3	27	28	29	30	31	32	33	34	ARCI	ARE	ARENA	FP	LIMO	LUTI
N-DRIL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BARABUF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BARACARB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
KCL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ALDACIDE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CARBONAT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mole Flow kmol/hr														
WATER	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ARENISCA	0,043	0,031	0,012	0,001	0,002	0,01	0,002	0,008	0	0,262	0	0	0	0
ARCILLO	0,02	0,014	0,005	0	0,001	0,004	0,001	0,004	0,12	0	0	0	0	0
LIMONITA	0,256	0,186	0,07	0,006	0,012	0,058	0,012	0,046	0	0	0	0	1,561	0
ARENA	0,143	0,104	0,039	0,004	0,007	0,032	0,007	0,026	0	0	0,871	0	0	0
LUTITA	0,505	0,367	0,138	0,012	0,023	0,115	0,024	0,091	0	0	0	0	0	3,074
BARADEFO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N-VIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N-DRIL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BARABUF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BARACARB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
KCL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ALDACIDE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CARBONAT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

	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 XIOMAR VANESSA CASTILLO VEGA Y SERGIO DAVID SAENZ MORENO en calidad de titulares de la obra PLANTEAMIENTO DE UNA ALTERNATIVA PARA PUESTA EN MARCHA DE UN SISTEMA QUE PERMITA LA SEPARACIÓN Y DISPOSICION FINAL DE LOS CORTES INDUSTRIALES DE PERFORACION EN EL CAMPO CASTILLA DE ECOPEPETROL S.A elaborada en el año 2016 , 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 me(nos) corresponde(n) 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 Autor(es) 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.

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

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

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

Licencias completas: 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 su(s) autor(es).

De igual forma como autor (es) autorizo (amos) la consulta de los medios físicos del presente trabajo de grado así:

AUTORIZO (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 indicaré (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 (la ciudad), a los 1 días del mes de marzo del año 2017.

EL(LOS) AUTOR(ES):

Autor 1

Nombres	Apellidos
XIOMAR VANESSA	CASTILLO VEGA
Documento de identificación No	Firma
CC: 1026288691	

Autor 2

Nombres	Apellidos
SERGIO DAVID	SAENZ MORENO
Documento de identificación No	Firma
CC:1014254589	