

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **ELABORACIÓN DE UN MÉTODO DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE SÓLIDOS, BASADO EN UNA NUEVA DEFINICIÓN DE LOS OBJETIVOS FUNCIONALES DE LOS EQUIPOS Y EN UN NUEVO CONCEPTO DE EFICIENCIA.**

Trabajo Especial de Grado  
presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de  
Venezuela para optar al Título de  
Ingeniero de Petróleo  
Por el Br. Quirós Lucero, Fermín Alberto.

Caracas, Abril del 2002.

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **ELABORACIÓN DE UN MÉTODO DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE SÓLIDOS, BASADO EN UNA NUEVA DEFINICIÓN DE LOS OBJETIVOS FUNCIONALES DE LOS EQUIPOS Y EN UN NUEVO CONCEPTO DE EFICIENCIA.**

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Bueno Gómez, Luis Norberto.

TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Tovar, José Gregorio.

Trabajo Especial de Grado presentado  
ante la Ilustre  
Universidad Central de  
Venezuela para optar al Título de  
Ingeniero de Petróleo  
Por el Br. Quirós Lucero, Fermín Alberto.

Caracas, Abril del 2002.

**Quirós L. Fermín A.**

**ELABORACIÓN DE UN MÉTODO DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA  
DE CONTROL DE SÓLIDOS, BASADO EN UNA NUEVA  
DEFINICIÓN DE LOS OBJETIVOS FUNCIONALES DE LOS  
EQUIPOS Y EN UN NUEVO CONCEPTO DE EFICIENCIA.**

**Tutor Académico: Prof. Luis N. Bueno. Tutor Industrial: Ing. José G. Tovar.  
Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería de  
Petróleo. 2002, 227 pág.**

**Palabras Claves:** Equipos de Control de Sólidos, Eficiencia, Fluido de Perforación,  
Balance de Masas.

**RESUMEN**

El presente trabajo consistió en elaborar un método de evaluación del sistema de control de sólidos, basado en una nueva definición de los objetivos funcionales de los equipos y en un nuevo concepto de eficiencia, que relaciona los sólidos de formación a la salida del pozo con los sólidos de formación descargados por el sistema. Para conocer acerca de los métodos utilizados actualmente, se recolectó una serie de programas de evaluación y al ser analizados minuciosamente, se determinó que los mismos presentaban errores conceptuales y operacionales. Debido a esta problemática, se decidió elaborar un nuevo programa de evaluación, que no tomara en cuenta los parámetros de tiempo y volumen de toma de muestra, que presentaron problemas en los programas anteriores, para obtener resultados de eficiencia más confiables y cercanos a la realidad.

Caracas, Abril del 2002

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por Consejo de Escuela de Ingeniería de Petróleo, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Fermín A. Quirós L., titulado:

**“ELABORACIÓN DE UN MÉTODO DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE SÓLIDOS, BASADO EN UNA NUEVA DEFINICIÓN DE LOS OBJETIVOS FUNCIONALES DE LOS EQUIPOS Y EN UN NUEVO CONCEPTO DE EFICIENCIA”**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero de Petróleo, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.

---

Prof. Luis Norberto Bueno

Tutor Académico

---

Prof. Víctor Escalona

Jurado

---

Prof. María Esther Hernández

Jurado

# AGRADECIMIENTOS

Deseo extender un agradecimiento a las siguientes personas, por apoyarme a lo largo de mi carrera y en la realización del presente Trabajo de Grado:

- A mi **Familia**, por hacer de mí la persona que hoy soy. Gracias por apoyarme en todas mis locuras a lo largo de mi estudio en la Universidad Central de Venezuela. Los quiere mucho, su Loquito.
- A mi hermosa y grandiosa **Novia** (Marijor D. Bencomo A.), por estar conmigo a lo largo de mi carrera universitaria apoyándome y aconsejándome en todo momento. Estoy feliz de tener una linda familia, pero también estoy muy agradecido por el grandioso regalo que me ha dado la vida, al colocar a mi lado una mujer excepcional, que ha sabido comprenderme y quererme en todo momento. Gracias gordita por ser mi gran apoyo, espero algún día formar junto a ti una bella familia y ser el hombre más feliz del mundo, *Te Amo Muchotote Bebe*.
- A mí querido **hermanazo** (Joao F. Caires S.) y a toda su querida **familia**, por recibirme como uno más en su casa y apoyarme en todo momento. Gracias Joao por ser un amigo incondicional y estar conmigo apoyándome y comprendiéndome en mis locuras, sueño algún día verte graduado de Geólogo y trabajando junto a mí, para así seguir esta bella amistad. Nuestra amistad nunca terminará porque es demasiado grande, espero algún día ver a nuestros hijos compartiendo juntos y siendo tan buenos amigos como lo somos tu y yo.
- A mi Tutor Industrial (José G. Tovar), por confiar siempre en mí y ser un buen amigo. Gracias José Gregorio por estar pendiente en todo momento de mí, por aconsejarme y ayudarme a lograr que este trabajo fuese digno de un estudiante de la Universidad Central de Venezuela.

## AGRADECIMIENTOS

---

- A mi Tutor Académico (Norberto Bueno), por apoyarme y creer en mi capacidad como estudiante. Gracias Norberto por enseñarme todo acerca de la vida profesional del Ingeniero de Petróleo.
  - A mi amigo Alejandro Padilla por ayudarme a elaborar el programa en Delphi (ambiente Windows) y así tener una mejor presentación del programa para los usuarios. Gracias amigo por tenerme tanta paciencia, siempre estaré agradecido por tu apoyo incondicional.
  - A mi amiga Adriana Freites por su gran apoyo a lo largo de la elaboración del presente trabajo (aún cuando lo niegues). Gracias amiga, porque sin tu gran ayuda no hubiese podido terminar a tiempo este trabajo, te deseo lo mejor en tu carrera profesional como en tu vida familiar.
  - A mis amigos Joseph Abdev y Poin, así como a mi muy querida Amiga Kelly Ramírez, porque sin sus traducciones no hubiese podido comprender en poco tiempo las bases teóricas para terminar este Trabajo de Grado. Gracias a los tres por apoyarme y ser unos excelentes compañeros a lo largo de mi carrera.
  - A mi loco amigo Dany, por su ayuda en mis locuras de deducción de fórmulas, las cuales fueron muy importantes para la comprensión de este trabajo. Gracias amigo, espero que algún día podamos cumplir juntos esas metas de trabajo que tenemos en mente.
  - A mi amigo Jorge Giménez del laboratorio de fluidos de perforación por su apoyo y ayuda incondicional al momento de buscar información y respuestas a preguntas sin respuestas que surgían a lo largo de la elaboración del presente trabajo.
-

## AGRADECIMIENTOS

---

- A mi amigo Jorge Guzmán “Gordillo” y mi amiga Liuskar por luchar conmigo en el último año de mi carrera, para pasar todas las materias y así poder culminar mis estudios. Gracias por ser tan buenos amigos.
  - A mi querida amiga Marjorie Gamboa, por su gran ayuda prestada para la comprensión de un problema, que sirvió de mucha ayuda para terminar mi trabajo de grado. Gracias amiga por ser tan especial, te deseo todo lo mejor a ti y a tus seres queridos.
  - A mis amigos y amigas: Trinita, Oswaldo, Auri, Pablito, Ginnett, Taymara, Yeradine, Ivancito, Roberto, Dalila, Lisbett, Natali, Marcos, Mabel, Debora, Nex, Keny “El Chino”, Catalina, Lisett, Omar, Daniel, Juan C, Danielito, Víctor, Patiño, Gabrielito, Henry, Oliver, Marcos, Ernesto, Ángel, Karina, Freddy, Yasmely (y su familia), Violeta, Richard, Salvador, Felix, Hamilton, Almeida, Marialex (y su familia), David, Cristian, Yosleris, Eli, Juan M., Mariangel, Victoria y todos esos grandes amigos que siempre me apoyaron a lo largo de mi carrera.
  - A mis grandes amigos y amigas: Álvaro Nieto (y su familia), Humberto, Fernando (Bacanal), Jean Franco, Juancito, Ebelio, Reinaldo, Deybi, Roberto, Luis “El Chino”, Guillermo, Horacio, Genis, Rodrigo, Jesús, Fernando, Pablo Basquez, Analis, Johana, Adrianita, Rosa, Thais, Heidy, Lisbett y todos esos buenos amigos que siempre me apoyaron a lo largo de mi carrera.
  - A mis amigas y hermanitas Judeilis, Adalis y María, por apoyarme y acompañarme a lo largo de toda mi carrera. Siempre las recordaré con mucho cariño.
-

## AGRADECIMIENTOS

---

- A mis amigos de Cagua la Viejita, Dieguito, Daniel, Atagualpa, Elvis, Charly, Carlos y Robert, por compartir grandes momentos en mi carrera universitaria y por su amistad.
  - A mis amigos de **Oro Negro**, William Niño “Caricatura”, Pedro P. y Luis Castillo, por compartir buenos momentos; y por alegrar la escuela con su buena música venezolana.
  - A mis grandes amigos Jesús Dubront y Cristian Díaz, por apoyarme a lo largo de mi carrera estudiantil. Que Dios bendiga sus hermosas hijas.
  - A mis queridas amigas del liceo Liliana Núñez, Katuska, Adriana y Ankaris, por apoyarme a lo largo de mi carrera y estar conmigo en las buenas y en las malas.
  - A mi Profesor de Perforación Direccional (Edgar Parra), por creer en mi capacidad como estudiante y por ayudarme en la comprensión de problemas relacionados con el presente Trabajo de Grado.
  - A mi Profesora de Fluido de Perforación (Griselda Zorrilla), por su gran apoyo y por estar pendiente en todo momento de mi Trabajo Especial de Grado.
  - A mis amigos de trabajo de grado, en donde pase muy buenos momentos, y en especial a mi jefa bella y preciosa, que siempre recordare con mucho cariño.
  - A mi querida amiga Franciana (y su familia), así como a su hermano y a sus locos amigos, por compartir buenos momentos.
  - A mi amiga Mari Carmen y a Bella en Puerto Piritu, por creer siempre en mí y por apoyarme en todo momento.
-



## AGRADECIMIENTOS

---

- A María Esther y Víctor Escalona (jurados de tesis), por los consejos que permitieron que este trabajo especial de grado fuese digno de la universidad central de Venezuela.
- A la empresa PDVSA por aceptarme como parte de uno de sus proyectos y por permitirme culminar satisfactoriamente mi carrera universitaria.
- A la máxima casa de estudio “La Universidad Central de Venezuela”, por formarme como un buen ciudadano y permitirme ser Ingeniero de Petróleo de la República Bolivariana de Venezuela.
- A mariela y roxana por toda la ayuda prestada a lo largo de la elaboración del presente trabajo.
- A Franky Carruyo y Gonzalo Bernal, por su gran colaboración y por suministrarme material e información necesaria para realizar el presente trabajo.



## DEDICATORIA

---

## DEDICATORIA

Le dedico el presente Trabajo de Grado a mi grandiosa y adorable **Familia**, la cual siempre ha estado conmigo apoyándome, aconsejándome y protegiéndome en todo momento, para poder lograr todas mis metas.

**Mami** (Elsy D. Lucero M.) lo logré, he cumplido mi sueño de ser Ingeniero de Petróleo y junto con él, también el tuyo de verme montado en el Aula Magna de la Universidad Central de Venezuela recibiendo mi título. Gracias mami por aconsejarme en todo momento y quererme como lo has hecho, me siento orgulloso y agradecido de tener una familia tan hermosa como la que has formado junto con mi papá y nosotros tus hijos.

**Papi** (Fermín A. Quirós R.), aquí te entrego este gran regalo, el cual es verme convertido en un hombre de provecho, luchando siempre por lo que debe ser correcto y justo, creyendo siempre en la familia, esa familia que tu junto a mi mami han sabido construir, y que ahora recoge uno de sus frutos, al verme graduado de Ingeniero de Petróleo en la Universidad Central de Venezuela. Gracias gafito por ser un excelente ejemplo como padre, para que así yo en un futuro, pueda formar esa hermosa familia que he tenido al lado de ustedes.

**Gordito** (Alberto F. Quirós L.), te dedico este trabajo que he realizado con mucho esfuerzo y tesón, para que te sirva de incentivo, ahora que vas a comenzar esta vida universitaria tan hermosa que hoy he culminado; confié mucho en tí y estoy seguro que cumplirás tus metas rápidamente y que serás un estudiante sobresaliente, mira que aquí en la Universidad forjarás tu futuro y te convertirás en la personas que tu quieras ser. Gordo gracias por apoyarme y ser mi pequeño y querido hermanito, siempre contaras conmigo y nunca olvides la hermosa familia que tenemos, que es lo más importante que nuestros padres pudieron ofrecernos.

Los quiere mucho Fermín A. Quirós L.

---

LISTA DE TABLAS .....	i
LISTA DE FIGURAS .....	ii
1.INTRODUCCIÓN .....	I
2.FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	1
2.1 CONCEPTOS BÁSICOS.....	1
2.1.1. EFECTOS DE LOS SÓLIDOS EN EL FLUIDO DE PERFORACIÓN .....	2
2.1.2. EFECTOS DE LOS SÓLIDOS EN LAS OPERACIONES DE PERFORACIÓN.....	3
2.1.3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS EN CONTROL DE SÓLIDOS.....	6
2.1.4. PRUEBAS DE LABORATORIO PARA DETERMINAR LOS SÓLIDOS PRESENTE EN EL FLUIDO DE PERFORACIÓN.....	12
2.2 MÉTODOS DE SEPARACIÓN .....	18
2.2.1. MÉTODOS DE SEPARACIÓN PRIMARIOS.....	18
2.2.1.1 Divisor de Flujo .....	19
2.2.1.2 Tanques de Asentamiento o Trampa de Arena.....	19
2.2.1.3 Zarandas Vibratorias.....	20
2.2.2. CLASIFICACIÓN HÚMEDA .....	28
2.2.2.1 Factores que rigen la Clasificación Húmeda .....	28
2.2.2.2 Hidrociclones .....	28
2.2.3. EQUIPOS DE CLASIFICACIÓN HÚMEDA.....	33
2.2.3.1 Desarenadores .....	33
2.2.3.2 Deslimadores .....	34
2.2.3.3 Limpiadores de Lodo.....	35
2.2.3.4 Tres en Uno .....	36
2.2.3.5 Centrífugas .....	37
2.2.3.5.1 Rendimiento de la Centrífuga .....	40
2.2.3.5.2 Dilución de la Lechada que sé esta alimentado dentro de la Unidad....	41
2.2.3.5.3 Aplicaciones de la Centrífuga .....	41
2.2.3.5.4 Factores que afectan el desempeño de una Centrífuga .....	42
2.2.4. OTROS MÉTODOS DE SEPARACIÓN DE SÓLIDOS .....	42
2.2.4.1 Dilución.....	43
2.2.4.2 Descarte y Dilución.....	44

## ÍNDICE

---

2.2.4.3 Floculación .....	45
2.2.5. CÁLCULOS DE LA EFICIENCIA DE CONTROL DE SÓLIDOS.....	46
2.2.5.1 Método API .....	46
2.2.6. DISPOSICIÓN DE LOS EQUIPOS DE CONTROL DE SÓLIDOS.....	50
3.DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO.....	54
3.1 DESCRIPCIÓN .....	54
3.2 METODOLOGÍA.....	57
3.2.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	57
3.2.2 ANÁLISIS DE LOS MECANISMOS DE EVALUACIÓN .....	58
3.2.2.1 Recopilación de Información.....	59
3.2.2.1.1 Programa de porcentaje en volumen.....	59
3.2.2.1.2 Programa de porcentaje en peso.....	60
3.2.2.2 Revisión de la Información.....	62
3.2.2.2.1 Programa de porcentaje en volumen.....	62
3.2.2.2.2 Programa de porcentaje en peso.....	63
3.2.2.3 Introducción de nuevas ecuaciones en el balance de masa.....	63
3.2.2.4 Validación de las nuevas ecuaciones.....	65
3.2.3 NUEVO CONCEPTO DE EFICIENCIA Y MEJORAS EN LOS MEDIOS DE EVALUACIÓN .....	65
3.2.4 ELABORACIÓN DE UN NUEVO PROGRAMA DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE SÓLIDOS .....	67
4.DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	68
4.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	68
4.1.1 Sólidos presentes en la descarga .....	71
4.2 ANÁLISIS DE LOS MECANISMOS DE EVALUACIÓN .....	74
4.2.1 Revisión de la Información .....	74
4.2.1.1 Programa de porcentaje en volumen.....	74
4.2.1.2 Programa de porcentaje en peso.....	78
4.2.2 Introducción de nuevas ecuaciones en el balance de masa .....	80
4.2.2.1 Programa de porcentaje en volumen.....	80
4.2.2.2 Programa de porcentaje en peso.....	83
4.2.3 Validación de las nuevas ecuaciones .....	83
4.2.3.1 Sección de 17 ½ pulgadas del hoyo.....	85
4.2.3.2 Sección de 12 ¼ pulgadas del hoyo.....	88

---

## ÍNDICE

---

4.2.3.3 Sección de 6 ½ pulgadas del hoyo.....	89
4.3 NUEVO CONCEPTO DE EFICIENCIA Y MEJORAS EN LOS MEDIOS DE EVALUACIÓN.....	91
4.3.1 Nueva definición del Objetivo Funcional del Equipo .....	92
4.3.2 Nuevo concepto de Eficiencia del sistema de control de sólidos .....	92
4.3.3 Cálculo de eficiencia aplicando el nuevo concepto al programa reformado de la sección 4.2.3 .....	93
4.3.4 Nuevo Método para calcular la eficiencia del sistema de control de sólidos .....	94
4.4 ELABORACIÓN DE UN NUEVO PROGRAMA DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE SÓLIDOS.....	98
5.CONCLUSIONES .....	104
6.RECOMENDACIONES .....	106
7.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	107
APÉNDICE .....	108
Apéndice A: Método para el cálculo del porcentaje en peso de sólidos dentro de un sistema de lodo.	108
Apéndice B: Metodología de cálculo de cloruros .....	110
Apéndice C: Metodología de cálculo de la capacidad de azul de metileno .....	112
Apéndice D: Metodología de cálculo del contenido de arena .....	114
Apéndice E: Especificaciones para diferentes tamaños de cribas y formas de mallas .....	115
Apéndice F: Mantenimiento y localización de errores de los desarenadores y deslimadores .....	116
Apéndice G: Deducción de ecuaciones de los programas entregados por las empresas de servicios ...	119
Apéndice H: Deducción de las nuevas ecuaciones introducidas en el balance de masa.....	134
Apéndice I: Deducción de las ecuaciones del nuevo método de evaluación .....	141
Apéndice J: Manual de uso del programa reformado para el cálculo de la eficiencia tomando en cuenta el tiempo de toma de muestra .....	156
Apéndice K: Formatos iniciales de los programas entregados por las empresas de servicios .....	174
Apéndice L: Formatos del programa reformado y del programa comercial.....	180
Apéndice M: Cálculo de eficiencia tomando en cuenta el tiempo de toma de muestra a la salida del pozo .....	193
Apéndice N: Manual de uso del programa de cálculo de eficiencia elaborado en el presente trabajo de grado (Excel).....	196
Apéndice O: Manual de uso del programa de cálculo de eficiencia elaborado en el presente trabajo de grado (Delphi “Ambiente Windows”).....	213
Apéndice P: Gráficos de rango de sólidos permitido para distintos tipos de lodos.....	225

---

## **LISTA DE TABLAS**

TABLA N° 2.1.1: Efecto del Porcentaje de Sólidos en la ROP.....	4
TABLA N° 2.1.2: Tamaños Aproximados de los Sólidos .....	7
TABLA N° 2.2.1: Comparación entre los Movimientos de las Zarandas .....	22
TABLA N° 2.2.2: Capacidad y Punto de Corte de los Diferentes Conos .....	32

## **LISTA DE FIGURAS**

FIGURA N° 2.1.1: Esquema del Sistema de Control de Sólidos.....	2
FIGURA N° 2.1.2: Efecto del Tamaño de las Partículas sobre el Área Superficial .....	6
FIGURA N° 2.1.3: Calsificación de los Tamaños de Partículas según el API .....	8
FIGURA N° 2.1.4: Equipo Mastersizer.....	10
FIGURA N° 2.1.5: Formato de Distribución del Tamaño de las Partículas .....	11
FIGURA N° 2.1.6: Retorta.....	13
FIGURA N° 2.1.7: Papel Filtro de la Prueba de MBT.....	15
FIGURA N° 2.1.8: Instrumento Utilizado para Determinar el Porcentaje de Arena .....	17
FIGURA N° 2.2.1: Partículas que eliminan los diferentes equipos de control de sólidos.....	18
FIGURA N° 2.2.2: Divisor de Flujo .....	19
FIGURA N° 2.2.3: Diferentes Tamaños de Malla .....	20
FIGURA N° 2.2.4: Zaranda Simple y Zaranda en Forma de Cascada.....	21
FIGURA N° 2.2.5: Mallas de Zarandas Simples .....	23
FIGURA N° 2.2.6: Mallas de Zarandas Múltiples.....	23
FIGURA N° 2.2.7: Mallas Bi y Tri-Dimensional.....	27
FIGURA N° 2.2.8: Proceso de Remoción de Sólidos del Hidrociclón.....	29
FIGURA N° 2.2.9: Tipo de Descargas de los Hidrociclones .....	30
FIGURA N° 2.2.10: Punto de Corte de los Hidrociclones.....	33
FIGURA N° 2.2.11: Desarenador.....	34
FIGURA N° 2.2.12: Deslimadores.....	35
FIGURA N° 2.2.13: Limpiador de Lodo.....	36
FIGURA N° 2.2.14: Equipo 3 en 1 .....	37
FIGURA N° 2.2.15: Centrífuga.....	38
FIGURA N° 2.2.16: Estructura Interna de la Centrífuga de Decantación .....	39
FIGURA N° 2.2.17: Estructura Interna de la Centrífuga de Rotor Perforado .....	40
FIGURA N° 2.2.18: Proceso de Dilución .....	44
FIGURA N° 2.2.19: Proceso de Dilución y Descarte .....	45
FIGURA N° 2.2.20: Sistema Básico para Lodo No Densificado.....	51

---

## LISTA DE FIGURAS

---

FIGURA N° 2.2.21: Sistema para Lodo No Densificado con Desgasificador.....	52
FIGURA N° 2.2.22: Sistema para Lodo No Densificado Con Centrífuga.....	52
FIGURA N° 2.2.23: Sistema para Lodo Densificado con Limpiador de Lodo y Centrífuga.....	53
FIGURA N° 2.2.24: Sistema para Lodo Densificado con Centrifugación del Flujo que sale de los Hidrociclones .....	53
FIGURA N° 3.1.1: Esquema de Toma de Muestra, Individual por Equipo.....	55
FIGURA N° 3.1.2: Esquema de Toma de Muestra, Global del Sistema.....	56
FIGURA N° 3.2.1: Esquema de Metodología de Trabajo.....	57
FIGURA N° 3.2.2: Esquema de Análisis de los Mecanismos de Evaluación.....	58
FIGURA N° 3.2.3: Programa en Excel de Porcentaje en Volumen.....	59
FIGURA N° 3.2.4: Programa en Excel de Porcentaje en Peso .....	61
FIGURA N° 4.1: Zaranda Vibratoria .....	68
FIGURA N° 4.2: Equipo de Clasificación Humeda.....	69
FIGURA N° 4.3: Esquema de Disposición de Equipos en la Mayoría de los Taladros..	69
FIGURA N° 4.4: Esquema de Ensanchamiento del Hoyo Según la API.....	70
FIGURA N° 4.5: Esquema Real de Ensanchamiento del Hoyo.....	71
FIGURA N° 4.6: Esquema de División de la Muestra de Descarga .....	72
FIGURA N° 4.7: Esquema de División del Líquido.....	72
FIGURA N° 4.8: Esquema de División de los Sólidos Secos.....	73
FIGURA N° 4.9: Toma de Muestra en el Equipo de Control de Sólidos .....	76
FIGURA N° 4.10: Esquema de la Secciones del Pozo en Estudio .....	84
FIGURA N° 4.11: Esquema del Sistema Ideal de Control de Sólidos.....	92
FIGURA N° 4.12: Esquema de la Distribución del Flujo a la Salida del Pozo .....	95
FIGURA N° 4.13: Datos de Alimentación del Nuevo Programa (Excel).....	98
FIGURA N° 4.14: Cálculo de la Distribución del Flujo de Sálida del Pozo (Excel).....	99
FIGURA N° 4.15: Resultados del Flujo Másico a la Salida del Pozo (Excel).....	99
FIGURA N° 4.16: Resultados del Flujo Másico a la Descarga (Excel).....	99
FIGURA N° 4.17: Esquema Real de Ensanchamiento del Hoyo.....	100
FIGURA N° 4.17: Resultados del Flujo Másico a la Entrada del Pozo (Excel) .....	100



## LISTA DE FIGURAS

---

FIGURA N° 4.18: Valores de Eficiencia y Porcentajes a la descarga (Excel) .....	100
FIGURA N° 4.19: Datos de Alimentación 1 del Nuevo Programa (Delphi) .....	101
FIGURA N° 4.20: Datos de Alimentación 2 del Nuevo Programa (Delphi) .....	101
FIGURA N° 4.21: Resultados del Nuevo Programa (Delphi) .....	102
FIGURA N° 4.22: Flujo de Masa de los Diferentes Sólidos (Delphi) .....	102
FIGURA N° 4.23: Tasa de Líquidos (Delphi).....	103
FIGURA N° 4.22: Porcentaje de los Diferentes Tipos de Sólidos y Líquidos (Delphi)	103

# INTRODUCCIÓN

El objetivo principal del presente Trabajo Especial de Grado fue elaborar un método de evaluación del sistema de control de sólidos, basado en una nueva definición de los objetivos funcionales de los equipos y en un nuevo concepto de eficiencia, que permitiese reflejar el comportamiento real del sistema de control de sólidos.

Para lograr dicho objetivo, durante el estudio se recolectó los formatos utilizados para el cálculo de la eficiencia de los equipos de control de sólidos y luego se llevo a cabo la siguiente metodología:

- Reforma de los programas, al incorporar nuevas ecuaciones en los mecanismos de evaluación.
- Comparación entre los resultados obtenidos por el programa reformado y el entregado por las empresas de servicios.
- Nuevo concepto de eficiencia.
- Elaboración de un método de evaluación basado en una nueva definición de los objetivos funcionales de los equipos y en el nuevo concepto de eficiencia.
- Automatización del nuevo método de evaluación, a través de la elaboración de un programa en Excel y Windows.

Entre las limitaciones observadas en los actuales métodos de evaluación están:

- a) El no tomar en cuenta densificantes distintos a la barita.
  - b) No tomar en cuenta lodos de tipo emulsión.
  - c) No poder clasificar los sólidos de baja gravedad.
-

## 1 INTRODUCCIÓN

---

d) No determinar de una forma confiable la cantidad de sólidos de formación a la salida del pozo.

El principal resultado obtenido en el presente informe fue solucionar todas esas problemáticas presentadas por los actuales métodos de evaluación, a través de la elaboración de una metodología, basada en la nueva definición de los objetivos funcionales y en un nuevo concepto de eficiencia.

La limitación que presenta este nuevo método es el no poder clasificar los sólidos de baja gravedad, porque no se poseen las herramientas para tal fin, lo que no permite cuantificar los sólidos de baja gravedad en:

- a) Carbonato.
- b) Aditivos de baja gravedad.
- c) Sólidos de formación.

Adicionalmente, el estudio realizado para la elaboración de la nueva metodología no toma en cuenta el tratamiento que se le realiza periódicamente al lodo, debido a que el análisis se realiza cuando el sistema se encuentra en equilibrio.

## **FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

### **2.1 CONCEPTOS BÁSICOS**

El Control de sólidos es el proceso mediante el cual la acumulación de sólidos indeseables en un sistema de lodo es controlada, ya que los mismos tienen efectos perjudiciales sobre las propiedades del fluido y sobre el proceso de perforación.

Las propiedades reológicas y de filtración pueden hacerse difíciles de controlar cuando la concentración de sólidos pertenecientes a la formación perforada (sólidos de baja gravedad específica) se vuelve excesiva, provocando un aumento de las propiedades reológicas y en el volumen de filtrado a las formaciones permeables, así como la disminución de productividad de las formaciones productoras, atascamiento de la tubería, disminución en la tasa de perforación y reducción de la vida útil de las mechas, ocasionando, de esta forma, la aparición de problemas operacionales y de productividad en los pozos.

Mediante la utilización de un sistema de control de sólidos adecuado se pueden extraer estos sólidos indeseables.

El objetivo de tener un sistema de control de sólidos en los taladros de perforación, es para extraer los sólidos de la formación, cortados durante la perforación de los hoyos. Por esa razón, para lograr una buena eficiencia de remoción de sólidos, será necesario realizar un buen mantenimiento y seguimiento del funcionamiento de los equipos, a través de un personal adiestrado que este pendiente que el sistema trabaje eficientemente para lograr ventajas económicas, tales como la reducción de los costos por reducción en los renglones de:

- Dilución.
  - Esparcimiento.
  - Costo del lodo propiamente.
-

A continuación se presenta un esquema donde se visualiza el recorrido del lodo a lo largo de los diferentes equipos del sistema de control de sólidos (Figura N° 2.1.1).

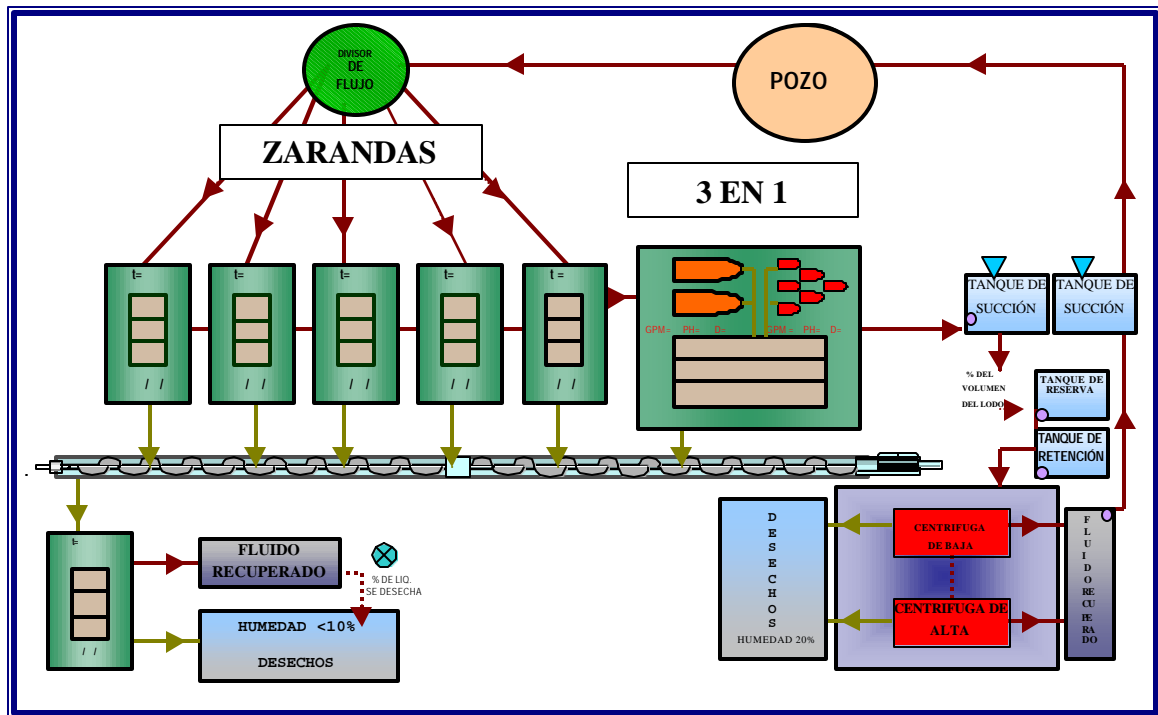


FIGURA N° 2.1.1: Esquema del Sistema de Control de Sólidos

### 2.1.1. EFECTOS DE LOS SÓLIDOS EN EL FLUIDO DE PERFORACIÓN <sup>[1]</sup>

Los fluidos de perforación son generalmente con base a agua o a aceite, y, dependiendo de la cantidad y tipo de surfactantes, sólidos, álcalis, sales, polímeros, etc., presentes en el mismo, las propiedades tanto físicas como química presentarán propiedades específicas, propias de su tipo.

Durante el proceso de perforación en el sistema del lodo se introducen sólidos inertes (arena, caliza y otros) y sólidos reactivos tales como arcillas (feldespato y limo) que se hidratan. Estos sólidos incrementan las pérdidas por fricción durante el flujo del lodo a través de la tubería y el hoyo, ocasionando cambios en las propiedades del fluido de perforación:

- **Densidad ( $\rho$ ):** esta propiedad se incrementa a medida que la cantidad de sólidos aumenta dentro del sistema de lodo, por la alteración del balance de materia sólido-líquido de la mezcla. La densidad se verá entonces afectada por la siguiente ecuación:

$$\rho = \rho_{Base} * (1 - \% S) + \rho_{Sólido} * (\% S) \dots\dots\dots \text{Ecuación 2.1.1}$$

Donde:

- $\rho$  = Densidad promedio del lodo con un % de sólidos determinado, lpg.
- $\%S$  = Sólidos dentro del sistema, fracción.
- $\rho_{Base}$  = Densidad del fluido base (Agua o Petróleo), lpg.
- $\rho_{Sólido}$  = Densidad de los sólidos introducidos en el sistema, lpg.

- **Pérdida de filtrado:** a medida que se incorporan sólidos al sistema, la pérdida de filtrado aumenta, debido a la alteración de la estructura del revoque, modificando la composición y calidad del mismo, aumentando, de esta forma, su permeabilidad y el espesor del revoque, parámetros importantes en el control del paso del filtrado del lodo a las formaciones permeables.
- **Viscosidad:** esta propiedad aumenta con la incorporación de sólidos de baja gravedad y su efecto se manifiesta en un aumento de los geles (viscosidad estática).

### 2.1.2. EFECTOS DE LOS SÓLIDOS EN LAS OPERACIONES DE PERFORACIÓN <sup>[1]</sup>

La incorporación de sólidos de perforación en el sistema de lodo incrementa las posibilidades de presentar problemas durante la perforación, entre los cuales se pueden nombrar los siguientes:

- **Disminución de la Tasa de Penetración (ROP):** se ha demostrado que la tasa de penetración es proporcional al número de Reynolds, que a su vez, es función de la densidad del fluido y de la viscosidad, la cual es función de la concentración de sólidos. Por lo que se presenta la siguiente ecuación:

$$ROP = f(N^{\circ}_{reynolds})^{0,45} = f\left(\rho * D_{interno} * \left(\frac{Veloc.}{m}\right)\right) \dots\dots\dots \text{Ecuación 2.1.2}$$

Donde:

- ROP = Tasa de penetración.
- N<sup>o</sup> reynolds = Número de Reynolds.
- f = Función.
- ρ = Densidad.
- D interno = Diámetro interno.
- Veloc = Velocidad.
- m = Viscosidad.

La Tabla N<sup>o</sup> 2.1.1 refleja el efecto del porcentaje y tamaño de sólidos en la tasa de penetración.

**TABLA N<sup>o</sup> 2.1.1: Efecto del porcentaje de Sólidos en la ROP <sup>[1]</sup>**

FLUIDOS	% SÓLIDOS	% por debajo de 1 micrón (m)	% por encima de 1 micrón (m)	ROP ( ft/hr)
Lodo A	8,6	1,4	7,2	16,5
Lodo A Disperso	11,6	5,7	5,9	6
Lodo B Disperso	6,2	5,2	1	8,5
Agua	0	0	0	23
Polímero A	7,1	0	7,1	21,5
Polímero B	2,8	0	2,8	22,4

A través de estudios realizados en operaciones de campo, junto con los datos de la tabla anterior, se dedujo la siguiente ecuación<sup>[1]</sup>:

$$\left(\frac{ROP_{lodo}}{ROP_{agua}}\right) = 1 - 0,0133 * F - 0,00114 * C \dots\dots\dots \text{Ecuación 2.1.3}^{[1]}$$

Donde:

- C = porcentaje de partículas del lodo con un diámetro mayor a 1 micrón.
- F = porcentaje de las partículas del lodo menores a 1 micrón.

Esta ecuación implica que las partículas menores a 1 micrón tendrán un impacto 11,66 veces más importante que las partículas mayores de 1 micrón. Es por esa razón que es de suma importancia remover los sólidos, para impedir que los mismos se degraden a partículas más pequeñas de 1 micrón, evitando así una reducción de la tasa de penetración del pozo. Adicionalmente, es importante extraer los sólidos cuando tienen tamaños mayores a 2 micrones porque los equipos de control de sólidos no son capaces de extraer partículas menores a ese tamaño.

- **Reducción de la vida útil de los equipos de superficie, bombas, y barrenas:** esta reducción se debe a la fricción existente entre las partículas sólidas y cada uno de los equipos, causando un desgaste del material.
- **Atascamiento de tubería:** los sólidos producen la formación de un revoque grueso y pegajoso, incrementando la posibilidad de que la tubería se pegue a la pared del hoyo.
- **Excesivo torque y arrastre:** el aumento del torque y arrastre es debido al alto contenido de sólidos y a la formación de un revoque grueso y muy pegajoso.
- **Daño a la formación:** existe daño en las formaciones permeables productoras debido a que los sólidos en el filtrado penetra en los espacios porosos, obstruyendo los canales disponibles para el flujo del petróleo hacia el pozo.
- **Pérdidas de circulación:** la incorporación de sólidos al sistema del lodo provocará un aumento en la densidad y de la viscosidad, incrementando así la posibilidad que la columna del lodo sobrepase la presión de las formaciones, y por ende, se produzcan pérdidas de circulación. También la formación de un revoque grueso provoca que aumenten las pérdidas por fricción en el espacio anular, que podría sobrepasar la presión de la formación.



- **Aumento del costo del lodo:** será necesario añadir mayor cantidad de aditivos y fluido base (agua, aceite, etc) al lodo de perforación para poder mantener sus propiedades, produciendo de esta forma un incremento del costo del mismo.

### 2.1.3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS EN CONTROL DE SÓLIDOS

Para conocer el funcionamiento de los equipos de control de sólidos se presenta una serie de conceptos fundamentales, que sirvieron de base para la comprensión de la eficiencia de dichos equipos.

#### 2.1.3.1 Efecto del Tamaño de las Partículas sobre el Área Superficial <sup>[2]</sup>

El tamaño de las partículas juega un papel muy importante en el área superficial, ya que la misma aumenta a medida que la partícula se degrada, provocando cambios en las propiedades del lodo y problemas durante la perforación. Por esa razón, los sólidos menores a  $2 \mu$  (coloidales) deben ser extraídos. Si un sólido tiene un tamaño de por ejemplo 40 micrones (área superficial=9.600) y se degrada a varias partículas de 1 micrón (área superficial=38.400) se tendrá mayor área superficial, y aumentará la viscosidad del lodo, ya que habrá más líquido humectando a la nueva distribución de partículas ( Figura N° 2.1.2).

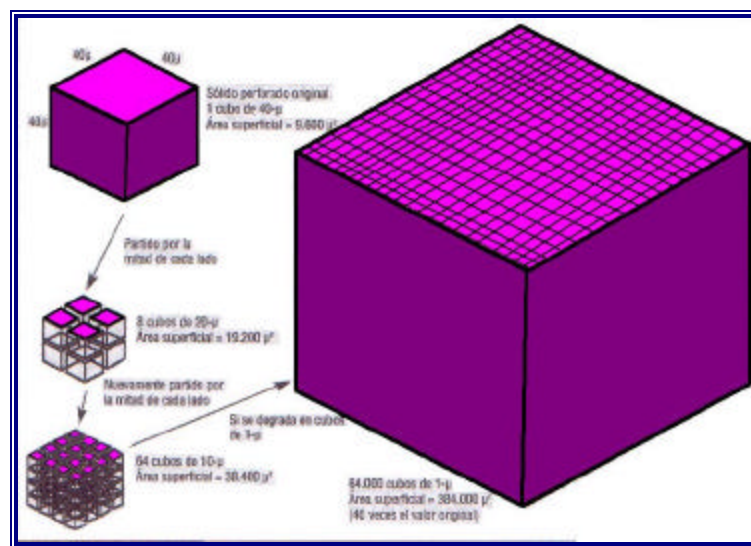


FIGURA N° 2.1.2: Efecto del Tamaño de las Partículas Sobre el Área Superficial <sup>[2]</sup>

### 2.1.3.2 Clasificación de las Partículas <sup>[2]</sup>

Las dos fuentes principales de sólidos (partículas) son los aditivos químicos y los recortes de la formación. Los recortes de la formación son contaminantes que degradan el rendimiento del fluido de perforación.

Si no se remueven los recortes, serán molidos y reducidos a partículas más pequeñas por los equipos del taladro (bombas, mechas y equipos de control de sólidos), haciendo más difícil su extracción del fluido de perforación.

El tamaño de las partículas de sólidos de perforación incorporadas en el fluido de perforación puede variar entre 1 y 250 micrones (1 micrón es igual a 1/25.400 de pulgada ó 1/1.000 de milímetro).

La Tabla N° 2.1.2 refleja una lista de los tamaños aproximados de los sólidos que pueden encontrarse en un fluido de perforación y la Figura N° 2.1.3 muestra la clasificación de los tamaños de las partículas según la API:

**TABLA N° 2.1.2: Tamaños Aproximados de los Sólidos <sup>[2]</sup>**

CATEGORÍA	TAMAÑO (micrones)	EJEMPLO
Coloidal	< 2	Bentonita, arcillas, sólidos de perforación muy finos y Barita fina.
Limo	2 – 74 ( < malla200)	Barita, limo, partículas de lutitas, carbonatos finos, Polvo de cemento y Arenas Finas.
Arena	74-2000 ( malla 200-10)	Arena Medianas y Gruesas, lutitas, carbonatos, recortes, material de pérdida de circulación, agentes puenteantes y Barita gruesa.

Arena según el API es aquella partícula que no pase por una malla de 200, la Barita pasará 97% por malla 200 y 95% por malla 325, por eso se clasifica como limo.

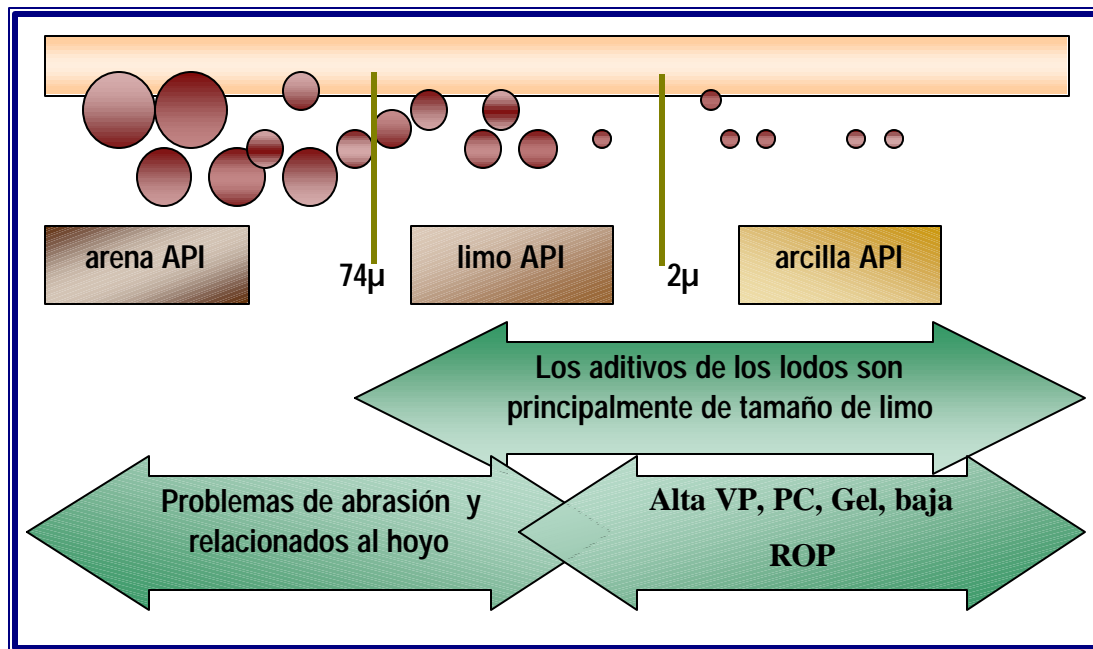


FIGURA N° 2.1.3: Clasificación de los Tamaños de Partículas Según el API <sup>[1]</sup>

### 2.1.3.3 Tipos de Sólidos presentes en el Lodo de Perforación <sup>[3]</sup>

Existen dos tipos de sólidos que pueden estar presentes en el fluido de perforación:

- **Sólidos Inertes:** son aquellos sólidos no reactivos, de alta gravedad específica, que sirven para densificar al lodo. Entre los cuales están los sólidos deseables: sulfato de bario (barita), óxido de hierro (hematita), sulfuro de plomo (galena), etc.; y entre los no deseados se tienen sólidos perforados tales como: arena, caliza, sílice y dolomita. Este tipo de sólido debe ser removido del lodo tan pronto y eficientemente como sea posible, para evitar cambios en sus propiedades y problemas en las operaciones de perforación.
- **Sólidos Reactivos:** son sólidos arcillosos que poseen cargas eléctricas. Se pueden agregar al lodo o ser incorporados de la formación. Entre los agregados están los comerciales como la bentonita; y entre los incorporados de la perforación se tienen las

arcillas de formación. El grado de dispersión o hinchamiento de las arcillas dependen del área específica de su superficie; por eso, a mayor hinchamiento y mayor dispersión, mayor será el rendimiento de la arcilla. Los sólidos arcillosos son coloides que pueden ser removidos parcialmente del lodo mediante la utilización de una centrífuga de alta velocidad. En conclusión, los sólidos coloidales son difíciles de remover.

#### **2.1.3.4 Sólidos de Baja Gravedad y Sólidos de Alta Gravedad** <sup>[2]</sup>

- **Sólidos de Baja Gravedad (LGS):** son aquellos sólidos que tengan una gravedad específica entre 2,3 y 2,8; y los mismos son utilizados para obtener densidad menores de 10 lb/gal. Ejemplo: sólidos perforados, arcillas,  $\text{CaCO}_3$  y demás aditivos del lodo.
- **Sólidos de Alta Gravedad (HGS):** son aquellos sólidos que tengan una gravedad específica entre 4,2 y más, y son utilizados para obtener densidades mayores de 10 lb/gal. Ejemplo: Barita, Hematita, o cualquier material densificante.

#### **2.1.3.5 Lodos Densificados y No-Densificados** <sup>[2]</sup>

- **Lodos No-Densificados:** son aquellos fluidos de perforación que no incluyen en su formulación sólidos de alta gravedad (densificantes), debido a que las densidades requeridas por el pozo son bajas. Para el control de los sólidos indeseables en este tipo de lodo se utilizan todos los equipos de separación y se considera una relación aceptable de Sólidos Perforados a Sólidos Coloidales de 3:1.
- **Lodos Densificados:** son aquellos fluidos de perforación que incluyen en su formulación sólidos de alta gravedad (densificantes). Para el control de los sólidos indeseables en este tipo de lodo se utiliza la zaranda y tamices adecuados para separar y descartar los sólidos perforados de más de  $74\mu$  (arena) manteniendo la barita con el líquido. Luego, la centrífuga se encarga de recuperar la barita, descartando las partículas coloidales (menos de  $2\mu$ ) en el líquido. Es decir se trabaja en ambos extremos del sistema eliminando sólidos coloidales y arena mientras que se mantiene las partículas del tamaño intermedio.

### 2.1.3.6 Distribución del Tamaño de las Partículas <sup>[2]</sup>

Esta clasificación se basa en la definición de Punto de Corte, el cual representa el porcentaje en una población de un tamaño determinado de partícula.

Generalmente esta clasificación se realiza con la finalidad de conocer la cantidad de partículas coloidales presentes en el lodo de perforación, ya que las mismas son las que más daño le ocasionan al fluido.

La distribución de partícula en el fluido de perforación es medida, entre otros instrumentos con el “**Mastersizer**” (ver Figura N° 2.1.4) y dicha distribución se presenta en el formato de la Figura N° 2.1.5.

La designación de punto de corte incluye el porcentaje del tamaño de partícula presente en el fluido de perforación. Un punto de corte  $D_{30}$  de 40 micrones, significa que el 30 % de la población esta conformado por partículas de 40 micrones o menores a ese valor.



FIGURA N° 2.1.4: Equipo Mastersizer

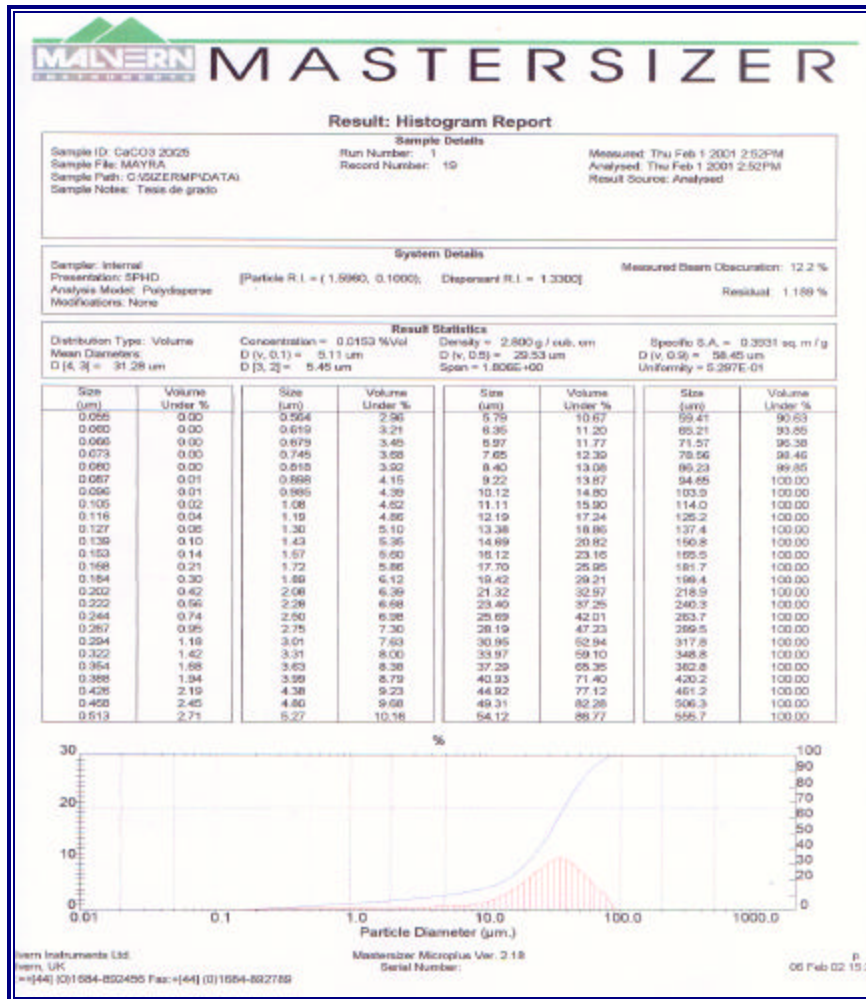


FIGURA N° 2.1.5: Formato de Distribución del Tamaño de las Partículas

2.1.3.7 Ley que rige la Sedimentación de las Partículas<sup>[5]</sup>

La Ley de Stokes demuestra que partículas de diferentes densidades ( $\rho$ ) y tamaños, pero con la misma masa ( $m=V*\rho$ ) se sedimentan al mismo tiempo. Por tal razón es posible separar una partícula de lutita de 60 micrones con una de Barita de 40 micrones. A continuación se presenta la ecuación derivada de dicha Ley:

$$V_s = \frac{G * D_s^2 * (r_s - r_l)}{46,3 * m} \dots\dots\dots \text{Ecuación 2.1.4}^{[5]}$$

Donde:

$V_s$  = Velocidad de sedimentación [Pies/seg].  
 $G$  = Fuerza gravitacional [Pies/seg<sup>2</sup>].  
 $D_s$  = Diametro del sólido [Pies].  
 $\rho_s$  = densidad de los sólidos [Lb/Pies<sup>3</sup>].  
 $\rho_l$  = densidad del líquido [Lb/Pies<sup>3</sup>].  
 $\mu$  = Viscosidad del líquido que contiene a las partículas [cp].

Los factores que favorecen a la sedimentación de las partículas grandes son la baja viscosidad ( $\mu$ ) y una tasa baja del lodo.

*Fuerza G (G):* Es la aceleración gravitacional que es capaz de generar el equipo; la misma representa la gravedad en la Ecuación 2.1.4 y es función de la longitud de desplazamiento recíprocante (stroke) y del cuadrado de las RPM según la ecuación descrita a continuación:

$$G = \text{Long Stroke (pulgadas)} * \left( \frac{RPM^2}{70.400} \right) \dots\dots\dots \text{Ecuación 2.1.5}$$

La fuerza G es la fuerza que actúa sobre las partículas sólidas y es igual a la fuerza de separación.

#### 2.1.4. PRUEBAS DE LABORATORIO PARA DETERMINAR LOS SÓLIDOS PRESENTE EN EL FLUIDO DE PERFORACIÓN

Para seguimiento del funcionamiento del sistema de control de sólidos es necesario realizar pruebas al fluido de perforación para determinar los diferentes tipos de sólidos y el porcentaje de ellos presentes en el lodo. Dichas pruebas se presentan a continuación:

##### 2.1.4.1 Método para cálculo de porcentaje en volumen de sólidos dentro de un sistema de lodo <sup>[4]</sup>

Esta técnica recomendada por la API permite el monitoreo de la cantidad de sólidos en el fluido, a través de la destilación del lodo, lo cual permite conocer la cantidad del líquido y

sólidos presentes en el sistema. En los lodos base aceite el porcentaje de sólidos se determinan también por la prueba de la retorta y este análisis sirve de guía para controlar la relación aceite/agua. Para la determinación del porcentaje de sólidos se utilizará la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Sólidos} = 100 - \% \text{ Aceite} - \% \text{ Agua} \dots\dots\dots \text{Ecuación 2.1.6}$$

El método de la Retorta consiste en un cilindro metálico que puede ser de un volumen determinado (generalmente de 10 ml o más de capacidad) en donde se vierte una muestra representativa del lodo. El mismo es calentado en un aparato llamado Retorta (Figura N° 2.1.6) entre 10 min. Y 30 min., hasta que los componentes líquidos se hayan vaporizado.



FIGURA N°2. 1.6: Retorta<sup>[4]</sup>

Los vapores pasan a través de un condensador y se recogen en forma líquida en una probeta graduada que permitirá determinar el porcentaje en volumen de aceite y de agua. Los sólidos en suspensión y disueltos, se determinan por diferencia. El procedimiento de porcentaje en peso utilizando la retorta, se presenta en el **Apéndice A**.

El porcentaje de sólidos de la ecuación presentada anteriormente incluye sólidos en suspensión (materiales densificantes y sólidos de baja gravedad) y materiales disueltos (sales). Se requieren cálculos para encontrar el porcentaje en volumen de sólidos disueltos y relacionarlos a los volúmenes relativos de sólidos de baja gravedad y material densificante.



Para realizar estos cálculos es necesario medir con precisión la concentración de cloruros y el peso de lodo.

La Ecuación 2.1.7 es utilizada para determinar el porcentaje en volumen de sólidos en suspensión:

$$\% Sol_{.susp} = \% sol . - \% agua * \left( \frac{C_{cloruro}}{1.680.000 - 121 * C_{cloruro}} \right) \quad \text{..Ecuación 2. 1.7}$$

donde :

$\%Sol_{.sup}$  = porcentaje en volumen de sólidos suspendidos.

$C_{cloruro}$  = Concentración de cloruros, mg / l.

Se presenta una breve explicación de la determinación de la cantidad de cloruros, debido a que para los cálculos anteriores se necesita esta información.

Los materiales necesarios para la determinación de la concentración del ion cloruro en el filtrado de un fluido de perforación, así como el procedimiento para su cálculo, son descritos en el **Apéndice B**.

La Ecuación 2.1.8 es necesaria para determinar la concentración del ión Cloruro del filtrado en partes por millón:

$$C_{cloruro} = \frac{cm^3 \text{ de } AgNO_3 * 1.000}{cm^3 \text{ de Filtrado}} \quad \text{..... Ecuación 2. 1.8}$$

### 2.1.4.2 Prueba de Azul de Metileno (MBT) o Capacidad de Intercambio Catiónico (CEC) <sup>[4]</sup>

La capacidad de azul de metileno del lodo es un indicativo de la cantidad de arcillas reactivas (bentonita y/o sólidos de perforación) presentes. La capacidad de azul de metileno provee un estimado de la capacidad de intercambio de cationes totales (CEC) de los sólidos de perforación.

La solución de azul de metileno es añadida a la muestra de lodo (la cual ha sido tratada con peróxido de hidrógeno y acidificada) hasta saturación, entonces se nota la formación de un “halo” seco alrededor de una gota de sólidos en suspensión, localizado sobre un papel filtro (ver Figura N° 2.1.7).

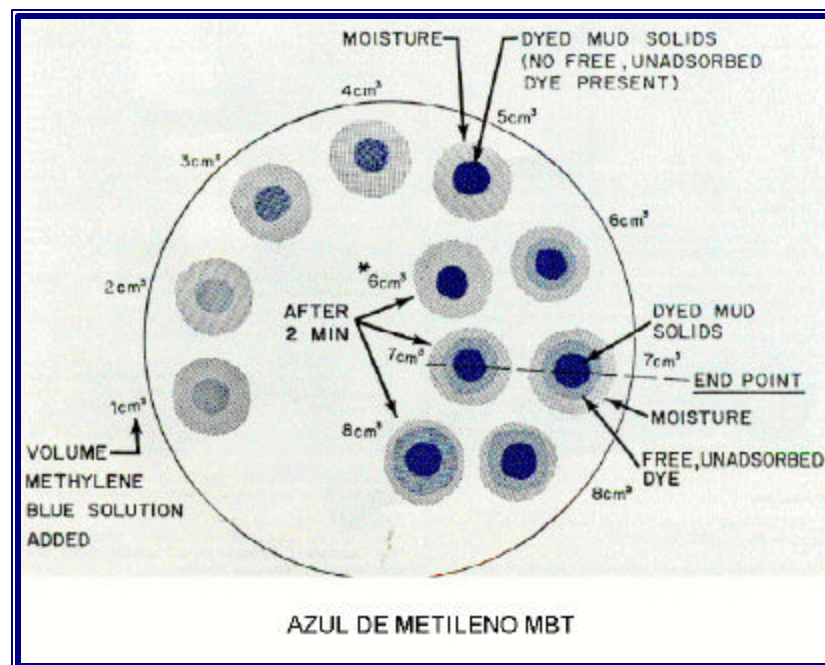


FIGURA N° 2.1.7: Papel Filtro de la Prueba de MBT <sup>[4]</sup>

Los lodos frecuentemente contienen sustancias además de las arcillas reactivas que adsorben azul de metileno.

El pretratamiento con peróxido de hidrógeno tiene la intención de remover el efecto de materiales orgánicos tales como lignosulfonatos, lignitos, polímeros celulósicos, poliacrilatos, etc. El equipo utilizado y el procedimiento, se encuentran descritos en el **Apéndice C**.

Se debe registrar los  $\text{cm}^3$  de azul de metileno utilizados y los  $\text{cm}^3$  del lodo. El intercambio de cationes del lodo se registra como la capacidad de azul de metileno calculada como sigue en la Ecuación 2.1.9:

$$MBT = \frac{\text{cm}^3 \text{ de Azul de Metileno}}{\text{cm}^3 \text{ de Lodo}} \dots\dots\dots \text{Ecuación 2. 1.9}$$

donde:

(MBT)= Capacidad de azul de metileno

El uso de peróxido de hidrógeno permite además estimar el contenido de bentonita del lodo sin interferencia de otros materiales adsorbentes. Los cálculos son presentados en la Ecuación 2.1.10:

$$\text{Bentonita (lb/ Bbl)} = 5 * MBT \dots\dots\dots \text{Ecuación 2. 1.10}$$

#### 2.1.4.3 Determinación del porcentaje de Arena <sup>[4]</sup>

El porcentaje de arena en el lodo daña las partes del equipo de superficie, por ejemplo: bombas, manguera, válvulas, etc. Siempre está presente el peligro que la arena pueda sedimentarse en el hoyo y aprisionar la tubería cuando se paran las bombas.

También el contenido de arena aumenta la densidad del lodo y esto es de mucho riesgo en formaciones someras donde hay tendencia a perder circulación. Controlar el contenido de arena a un máximo de 1% del volumen es considerado generalmente buena práctica.

El equipo consiste de un tamiz de 200 mesh y de 2,5 pulgadas de diámetro, unido a un embudo y un recipiente de vidrio (zanahoria) calibrado de 0 a 20% (ver Figura N° 2.1.8).

El porcentaje de arena se lee directamente del recipiente de vidrio y se registra en el informe de lodo. El procedimiento se encuentra explicado en el **Apéndice D**.



**FIGURA N°2. 1.8: Instrumentos Utilizado para Determinar el Porcentaje de Arena** <sup>[4]</sup>

## 2.2 MÉTODOS DE SEPARACIÓN

Los Equipos de Control de Sólidos trabajan principalmente según la Ley de Stokes, la cual se basa en la velocidad de asentamiento de la partícula. Dichas partículas son separadas secuencialmente desde tamaños de Arena y Limo hasta tamaños de Arcilla (Coloidales). Tal como se muestra en la Figura N° 2.2.1 se utilizan las Zarandas Vibratorias para las Arenas, los Equipos de Clasificación Húmeda para los Limo y los procesos químicos tales como: Floculación o Descarte y Dilución para las Arcillas (Coloidales).

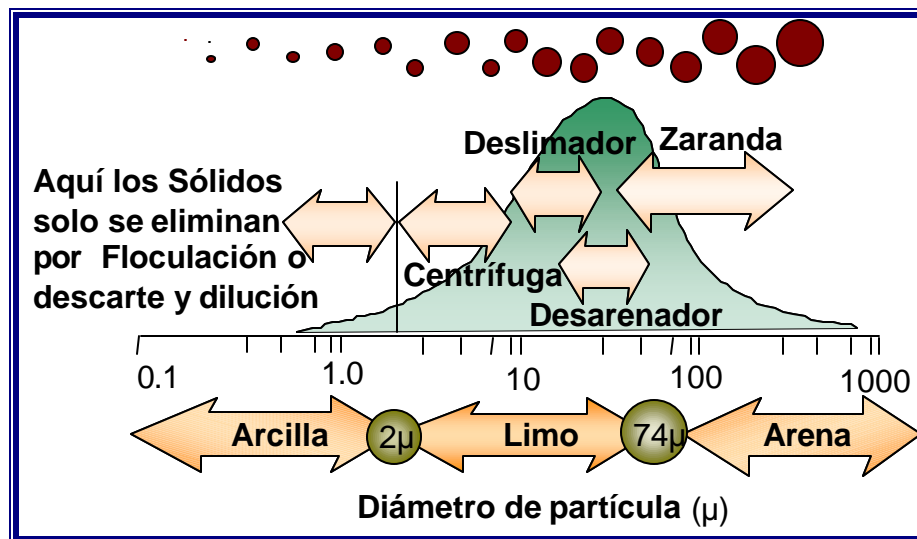


FIGURA N° 2.2.1: Partículas que eliminan los diferentes Equipos de Control de Sólidos <sup>[1]</sup>

A continuación se describen con mayor profundidad las características de cada uno de estos Métodos de Separación de Sólidos:

### 2.2.1. MÉTODOS DE SEPARACIÓN PRIMARIOS

Estos métodos son los primeros mecanismos de defensa contra los sólidos provenientes de la formación y en esta sección serán detallados.

### 2.2.1.1 Divisor de Flujo <sup>[1]</sup>

Este equipo distribuye uniformemente el fluido de perforación junto con los ripios a la entrada de las zarandas primarias, permitiendo el uso de mayores tasas de circulación y así mejorar la relación de área de malla disponible con respecto al volumen total de fluido procesado ( ver Figura N° 2.2.2).

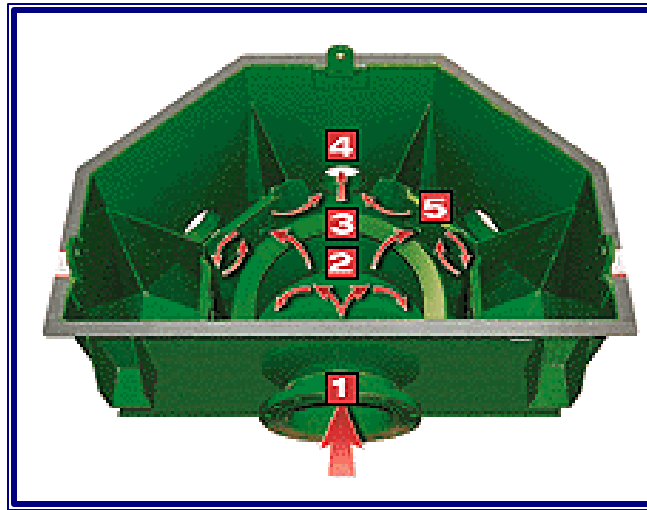


FIGURA N° 2.2.2: Divisor de Flujo <sup>[1]</sup>.

### 2.2.1.2 Tanques de Asentamiento o Trampa de Arena <sup>[5]</sup>

Los tanques de procesamiento de lodo son en general diseñados con un área superficial específica que es función de los flujos de entrada y salida que maneja.

Los tanques de asentamiento están ubicados debajo de los equipos de control de sólidos, para eliminar partículas grandes que pudieran haber burlado las zarandas por desbordamiento o por rupturas en las mallas, también sirven para mantener en agitación el fluido que pasa a través de los equipos de control de sólidos. Por lo general se colocan tanques en pozos donde la capacidad de las zarandas es inferior para de esta forma eliminar las partículas más grandes. Estos tanques no son usualmente usados en las operaciones modernas de perforación y la proporción de sólidos que se depositan dependerán de:

- Tamaño, forma y gravedad específica (GE) de las partículas.
- Densidad ( $\rho$ ) y viscosidad ( $\mu$ ) del fluido de perforación.
- Tipo de régimen de flujo de fluidos (Ley de Stokes “laminar”).
- Tiempo de estancia en el tanque.

### 2.2.1.3 Zarandas Vibratorias

Las zarandas constituyen la primera línea de defensa contra la acumulación de sólidos, y las mismas producen a diferencias de otros equipos, cortes de prácticamente 100% ( $D_{100}$ ) al tamiz de abertura de la malla. Para los diferentes tipos de malla se obtienen cortes de partículas equivalentes eliminadas, los cuales son presentados en la Figura N° 2.2.3 <sup>[6]</sup>.

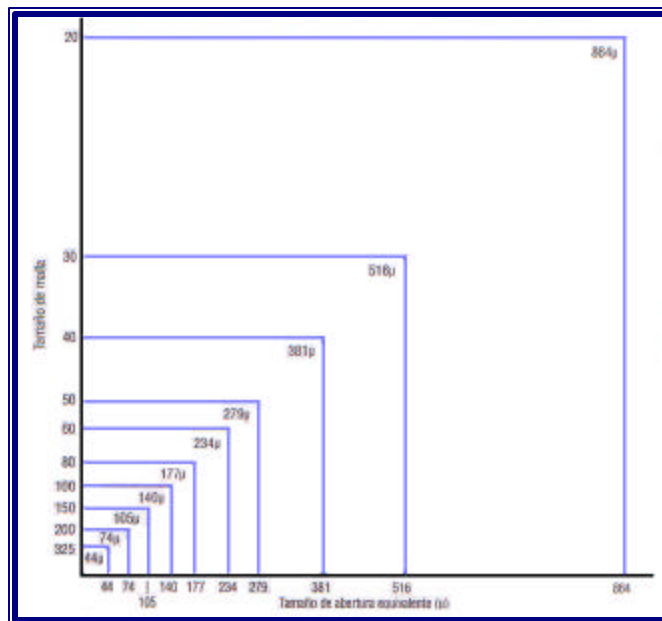


FIGURA N° 2.2.3: Diferentes Tamaños de Malla <sup>[2]</sup>

El uso de mallas más finas durante la primera circulación es el método más eficiente de control de sólidos, ya que esto impide que los sólidos se degraden y sean más difíciles de eliminar <sup>[2]</sup>.

Las zarandas pueden eliminar hasta el 90% de los sólidos generados. Pero no eliminan partículas de tamaño limo y coloidal. A continuación se presenta en la Figura N° 2.2.4 una zaranda vibratoria simple y otra en cascada <sup>[2]</sup>:

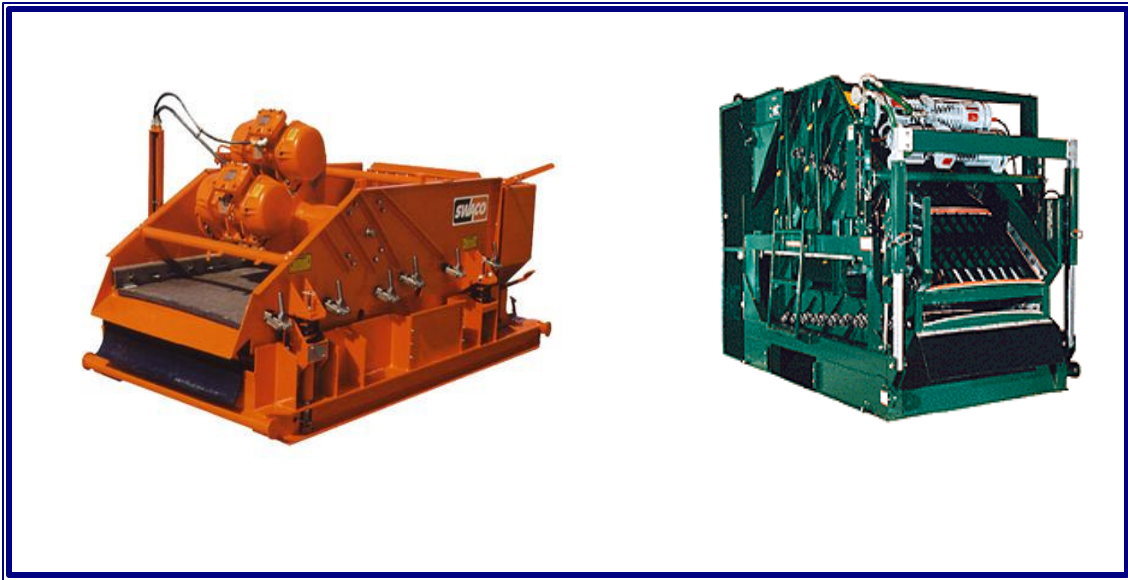


FIGURA N° 2.2.4: Zaranda Simple y Zaranda en Forma de Cascada <sup>[2]</sup>

#### 2.2.1.3.1. Factores que afecta el desempeño de las zarandas

Para determinar el buen funcionamiento de las zarandas, se debe primero conocer los factores que afectan su desempeño. Por esa razón los mismos se presentan a continuación:

- **Tipos de movimientos de las zarandas <sup>[2]</sup>:**

Movimiento Circular: provee a la zaranda de una fuerza G baja y un transporte rápido (eficaz para ripios pegajosos de tipo arcilloso), aquí los ripios serán húmedos. Algunas zarandas de tipo circular son usadas para eliminar los sólidos pegajosos grandes y para separación preliminar.



Movimiento Elíptico: en este sistema se levanta el centro de gravedad por encima de la cubierta y se utiliza contrapeso para producir el movimiento elíptico, produciendo de esta forma una Fuerza G moderadamente alta y un transporte lento con respecto al circular y lineal, por eso produce el mejor secado, entonces es usado en lodos densificados o como limpiadores de lodos para secar el flujo de descarga de los deslimadores.

Movimiento Lineal: provee una fuerza G variante entre 3 y 6, un transporte medianamente rápido de los rípios, el cual dependerá de: Velocidad Rotacional, ángulo de cubierta y posición de la malla.

TABLA N° 2.2.1: Comparación entre los Movimientos de las zarandas <sup>[5]</sup>

Tipo de Movimiento	Ventaja	Desventaja
Lineal	Mayor disponibilidad Movimiento lineal de arriba a abajo Buen transporte de rípios	Tiende a acortar la vida del tamiz
Circular	Mayor vida del tamiz	Peor para transportar rípios
Elíptico desbalanceado	Los rípios se desplazan a la largo del eje del movimiento elíptico	El transporte no es muy bueno
Elíptico balanceado	Buen transporte y alta eficiencia	Limitada disponibilidad

- **Posición y combinación de las Mallas <sup>[5]</sup>:**

Varios tipos de zarandas pueden ser combinadas en cascadas para producir una mejor eficiencia de remoción de sólidos. Por esa razón las Zarandas también pueden ser de tipo Simples o de Múltiple Deck:

Las zarandas de simple Deck: pueden estar en cascada o ser el de 3 tamices estándar. Se debe poner en primer lugar los tamices finos para descartar sólidos y las gruesas al final para secar mejor los ripios (menos pérdida de fluido) “Ver Figura N° 2.2.5”.

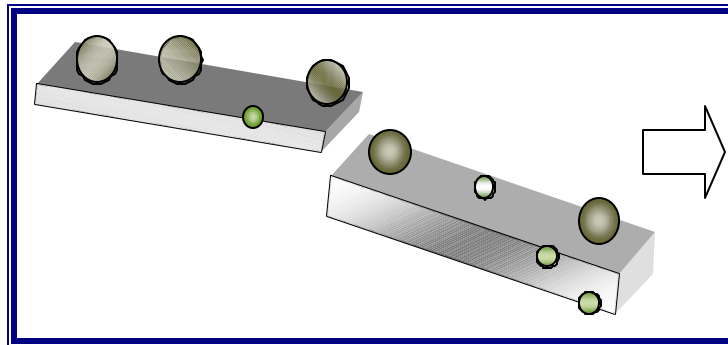


FIGURA N° 2.2.5: Mallas de Zarandas Simples

En las zarandas de Multiple Deck: se disponen los tamices uno encima de otro utilizando los mas gruesos encima y los mas finos abajo (Ver Figura N° 2.2.6).

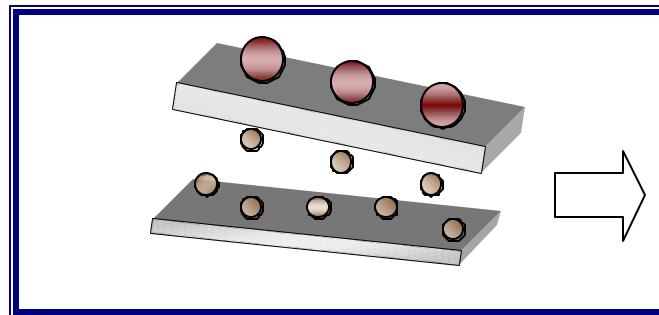


FIGURA N° 2.2.6: Mallas de Zarandas Múltiples

- **Carga de sólidos (masa o volumen por unidad de tiempo) <sup>[5]</sup>:**

Mientras mayor sea la cantidad de sólidos en el fluido alimentado, más viscoso es éste, lo que implica menos eficiencia y menos capacidad de la zaranda para manejar la carga.

- **Fuerza G <sup>[1]</sup>:**

La fuerza G es la energía vibratoria del sistema y determina la eficiencia de las zarandas. Las zarandas operan en un rango de Fuerza G de 2,5 – 7,5, dependiendo del tipo de vibración. Esta Fuerza G es función de la longitud de desplazamiento recíprocante y del cuadrado de las RPM, tal como se explicó anteriormente.

- **Tamaño del Tamiz <sup>[2]</sup>:**

La selección del tamaño de los tamices dependerá de las condiciones y características que se observen en la localidad. Si el volumen que se hace circular por los tamices excede la capacidad de los mismos, se deberá entonces probar con otros tamaños.

- **Inclinación del Deck <sup>[5]</sup>:**

La inclinación óptima del tamiz vibratorio es aquella que procese la mayor cantidad de partículas y en donde el flujo se extienda lo más posible sobre la malla, idealmente, el lodo de retorno se debería extender hasta 1 pie del borde del tamiz.

Si deben realizarse ajustes en los ángulos del tamiz, estos afectarán la velocidad de desplazamiento del lodo y el tiempo de retención, tal como se explica a continuación:

- **Hacia delante:** El sólido descartado sale más húmedo, debido a que la velocidad es alta y el tiempo de retención es bajo, permitiendo de esta forma que se pueda manejar mayor caudal, debido a que el movimiento del sólido es más rápido.
- **Horizontal:** Se reduce la velocidad de avance del lodo y el tiempo de retención aumenta, provocando así menor caudal manejable pero los sólidos saldrán más secos.

- Hacia atrás hasta 3 grados: El sólido se mueve lentamente hacia adelante lo que favorece la degradación de tamaño de sólido y los sólidos sale más secos.

Los ajustes en los ángulos de los tamices deben intentarse antes de aconsejar el uso de un tamaño de malla más grueso.

- **% de Área Abierta** <sup>[5]</sup>:

Se define como la fracción del tamiz no bloqueado por los hilos de acero. Mientras mayor es el área abierta, mayor es la capacidad volumétrica operativa, es decir, más posibilidad de manejar mayor volumen de lodo. El área esta en función del grosor de los hilos; por ejemplo, un tamiz de 4 mesh con hilos de 0,08 pulgadas de diámetro tiene un área abierta de 46%. Si los hilos son de 0,072 pulgadas, el área abierta es de 56%.

Por otra parte, la fracción del tamiz que procesa lodo denominada Cobertura del Lodo debe optimizarse evitando el efecto “herradura” para promover el aprovechamiento máximo del área de la malla. Un valor adecuado de cobertura es mayor que 75% del área de la malla.

- **Propiedades Reológicas del Fluido** <sup>[5]</sup>:

Las propiedades como la viscosidad y cantidad de sólidos determinan la eficiencia de remoción de sólidos de una zaranda, y la misma es más sensible a la viscosidad plástica que al punto cedente.

La cantidad de sólidos tiene influencia en el proceso de separación ya que la viscosidad del fluido aumenta con la cantidad de sólidos en el sistema, lo cual implica menor eficiencia y capacidad de manejar la carga en la zaranda.

- **Otras cosas importantes** <sup>[6]</sup>:

Cuando se tenga problemas de taponamiento de la malla, se deberá cambiar la malla por una de aberturas más finas que permitan que las partículas que obstruyen la malla sean eliminadas del sistema de lodo.

#### 2.2.1.3.2. *Mallas de las Zarandas* <sup>[7]</sup>

Se define como el número de abertura por pulgada lineal, medidas desde el punto medio de un alambre.

- **Eficiencia de la Malla:**

Dos factores que determinan la eficiencia de un tamiz son la finura de la malla y el diseño.

- *Finura de la malla:* las aberturas de tamiz determina el tamaño de las partículas que el mismo puede remover. La malla es el número de aberturas por pulgada lineal medidas desde el centro del alambre. Por ejemplo, un tamiz de malla oblonga 70 por 30 (abertura rectangular) tiene 70 aberturas a lo largo de una línea de una pulgada en un sentido, y 30 aberturas a lo largo de una línea de una pulgada perpendicular a la primera. Las medidas reales de separación las determinan factores tales como la forma de las partículas, viscosidad del fluido, índice de paso, y cohesión de las partículas.

Algunos lodos pueden formar una película de alta tensión superficial sobre los alambres de la malla y reducir el tamaño efectivo de aberturas de la malla. En el **Apéndice E** se dan las especificaciones para diferentes tamaños de criba y formas de mallas.

- *Diseño de las mallas:* Las mallas están disponibles en diseños bi- y tri-dimensionales.

1. Las mallas bidimensionales se pueden clasificar en:

Mallas de paneles, con dos o tres capas unidas en cada lado por una tira de una pieza en gancho doblada en dos.

Mallas de chapas perforadas, con dos o tres capas unidas a una chapa metálica perforada que proporciona sostén y es fácil de reparar.

2. Las mallas tridimensionales son mallas de chapa perforada con una superficie corrugada que corre paralelamente al flujo del fluido. Esta configuración proporciona mayor área de separación que la configuración de la malla bidimensional. Los diferentes tipos de mallas tridimensionales son:

- a) Pirámide
- b) Meseta

La Figura 2.2.7 ilustra la diferencia entre las mallas bi- y tri-dimensionales.

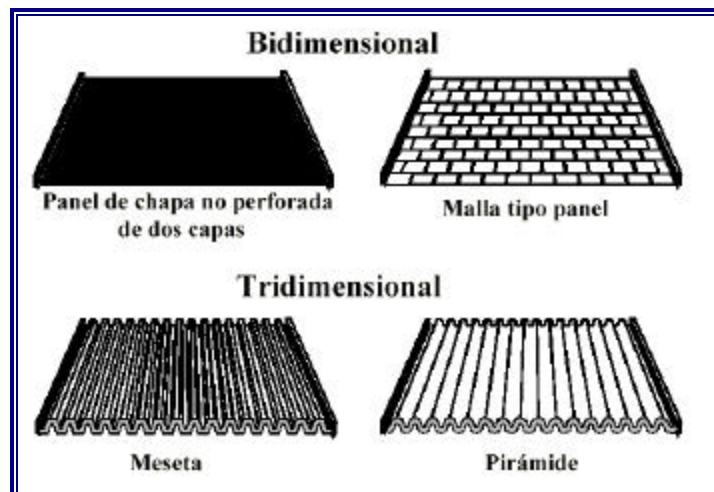


FIGURA N° 2.2.7: Mallas Bi y Tri-Dimensionales <sup>[7]</sup>

### 2.2.2. CLASIFICACIÓN HÚMEDA

Es el proceso mediante el cual se separan los sólidos del lodo, por otros medios distintos a la zaranda. La separación de los sólidos en esta etapa se basa en las variables descritas en la Ley de Stokes.

#### 2.2.2.1 Factores que rigen la Clasificación Húmeda <sup>[2]</sup>

La Fuerza  $G$  es la fuerza que actúa sobre las partículas sólidas y es igual a la fuerza de separación, por lo que:

- Para las partículas que poseen gravedad específica iguales, la velocidad de sedimentación es mayor a medida que aumenta su tamaño.
- Para partículas del mismo tamaño, la velocidad de sedimentación es mayor a medida que su gravedad específica aumenta.
- La velocidad de sedimentación disminuye progresivamente a medida que la viscosidad y/o densidad del lodo aumente.

#### 2.2.2.2 Hidrociclones <sup>[6]</sup>

Los hidrociclones se utilizan para separar los sólidos de tamaño arena fina y limo del sistema de lodo de perforación. No pueden separar sólidos coloidales así sean de alta o baja gravedad, por lo que la proporción de estos en el flujo inferior y superior va a ser la misma que en la alimentación.

En la Figura N° 2.2.8 se presenta un esquema de un hidrociclón o separador centrifugo tipo “Ciclón”. Este dispositivo comienza su funcionamiento cuando el lodo se alimenta, por medio de una bomba centrífuga, a través de una entrada que lo envía tangencialmente a la cámara de alimentación. Una corta tubería llamada el tubo vórtice (Vortex Finder) se

extiende hacia abajo en el cuerpo del cono y fuerza a la corriente en forma de remolino a dirigirse hacia abajo en dirección del vértice, es decir hacia el extremo delgado del cono. Las fuerzas centrífugas que se desarrollan en esas circunstancias multiplican la velocidad de sedimentación del material de la fase más pesada (los sólidos y el líquido más denso) forzándolos hacia afuera contra la pared del cono. Las partículas más livianas se dirigen hacia adentro y arriba como un vórtice espiralado que las lleva hacia el orificio de la descarga superior y del efluente.

Como es preferible guardar la mayoría del líquido y descargar solamente los sólidos, la abertura del vértice (fondo) debe ser más pequeña que la abertura superior.

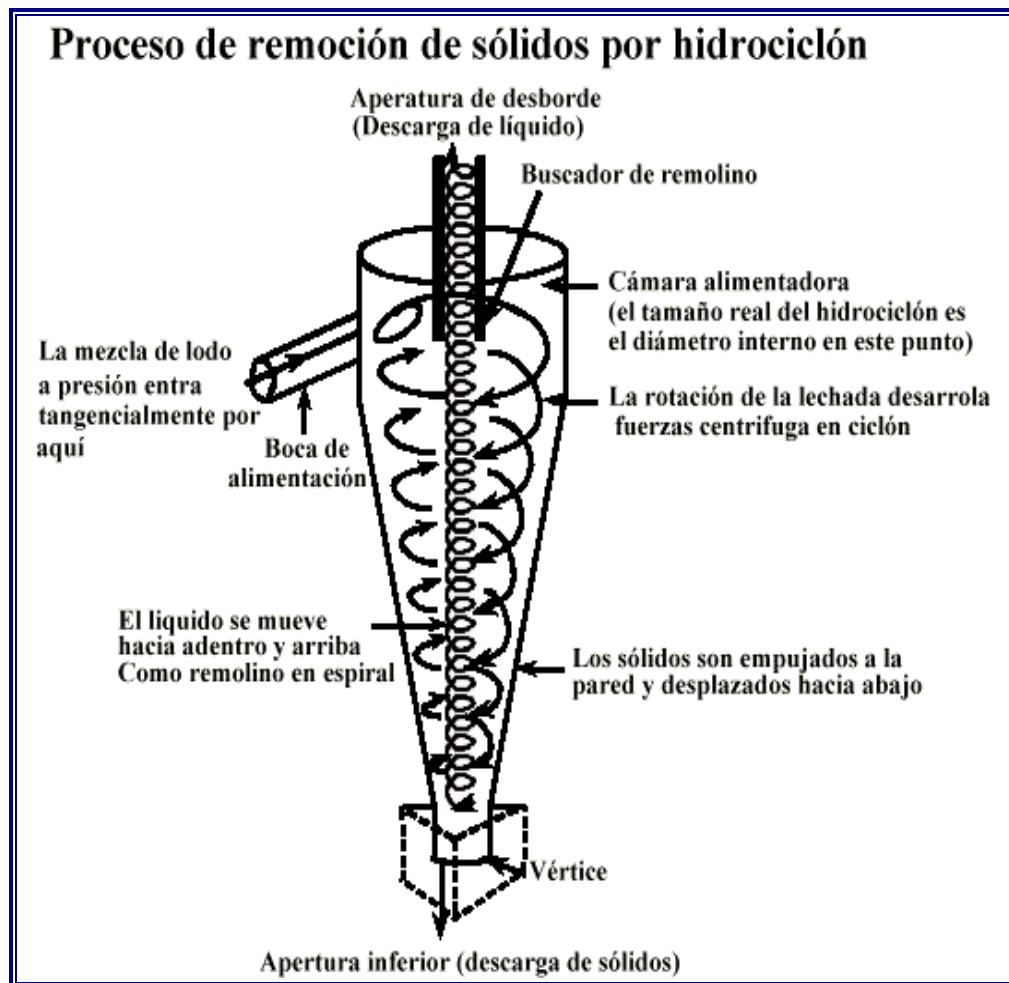


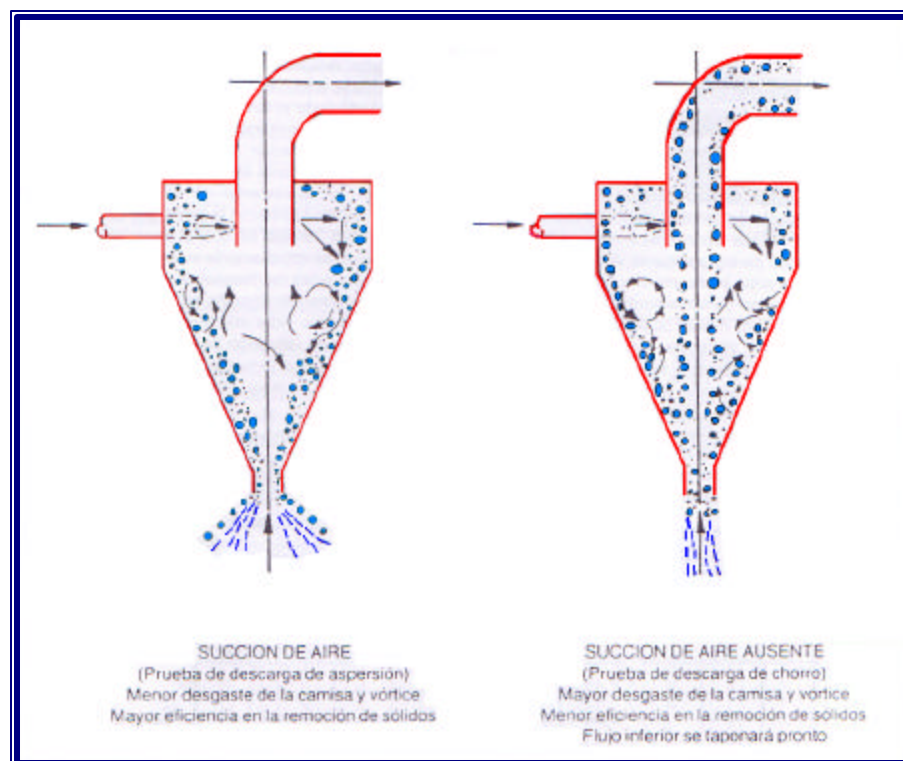
FIGURA N° 2.2.8: Proceso de Remoción de Sólidos del Hidrociclón <sup>[6]</sup>



**2.2.2.1 Factores que afecta el desempeño del hidrociclón** <sup>[6]</sup>

- **Tipo de Descarga:** La descarga del hidrociclón debe ser evaluada para asegurarse que el hidrociclón esté funcionando eficazmente, por esa razón se presentan los dos tipos de descarga que existen:

- *Spray fino o Succión de Aire:* descarga con una ligera succión en su centro, es la ideal (ver Figura 2.2.9).
- *Tipo Soga o Succión de Aire Ausente:* descarga sin succión de aire, esto debe evitarse, ya que el punto de corte y la pendiente serán muy grandes (ver Figura 2.2.9).

**FIGURA N° 2.2.9: Tipos de Descargas de los hidrociclones** <sup>[6]</sup>

Es de importancia acotar que en pozos de gran diámetro donde la tasa de penetración es muy alta, el tubo de alimentación puede sobrecargarse de sólidos y producir una descarga tipo sogá, pero en estos casos será necesario tolerar esto, ya que la situación sería peor si se apagara la unidad. De no ser este el caso y estar descargando sólidos tipo sogá, el problema puede ser que la presión de alimentación sea incorrecta o que el hidrociclón esté desgastado u obstruido, por esa razón se presenta en el **Apéndice F** una guía general para el mantenimiento y la localización de errores en estos equipos.

- **La cabeza hidrostática** <sup>[5]</sup>: La cabeza hidrostática está relacionada con la presión de la siguiente forma:

$$CH = \frac{P}{0,52 * r} \dots\dots\dots \text{Ecuación 2.2.1}$$

Muchos de los hidrociclones están diseñados para 75 pies de cabeza hidrostática en el múltiple de admisión, lugar en donde siempre debe medirse el valor de la cabeza hidrostática, ya que ésta disminuirá entre la bomba y el múltiple del hidrociclón. Valores bajos de cabeza hidrostática se traducen en bajo caudal, y por ende, en mayores puntos de corte (55 micrones en vez de 15 micrones) al momento de separar los sólidos. Un valor excesivamente alto también es perjudicial, ya que la mayoría de los sólidos no serán descargados al fondo y serán entonces transportados de nuevo dentro del sistema del lodo.

Los ciclones manejan mayor volumen a medida que aumenta la cabeza hidrostática según la relación:

$$Q_2 = Q_1 * \left( \frac{H_2}{H_1} \right)^{0,5} \dots\dots\dots \text{Ecuación 2.2.2}$$

- **Carga de sólidos y Viscosidad Plástica** <sup>[5]</sup>: Disminuye la capacidad de separación y la eficiencia de los ciclones.

- **Dimensiones** <sup>[5]</sup>: Los conos más grandes (diámetro mayor a 6 pulgadas) manejan fluidos con sólidos más gruesos, flujo inferior más denso y granoso al tacto, ripios grandes y gran cantidad de volumen.

Los ciclones más pequeños (menos de 6 pulgadas de diámetro) manejan menor flujo pero remueven sólidos más pequeños, tienen un flujo inferior menos denso y suave al tacto, remueven ripios más pequeños, pero manejan menos volumen.

Efecto del diámetro del cono sobre el caudal manejable, el punto de corte y los sólidos removidos por día:

**TABLA N°2.2.2: Capacidad y Punto de Corte de los diferentes Conos** <sup>[5]</sup>

Diámetro del cono	Caudal (gpm a 75 pies de cabezal)	D50% (micrones)
2	20	8-10
3	50	8-12
4	50	15-20
6	100	25-30
8	125	30-35
10	500	40-45
12	500	50-55

En la siguiente Figura se presenta la eficiencia de remoción del hidrociclón, indicando el corte y los valores  $D_{10}$ ,  $D_{50}$ ,  $D_{90}$  para hidrociclones típicos de 3, 4 y 6 pulgadas.

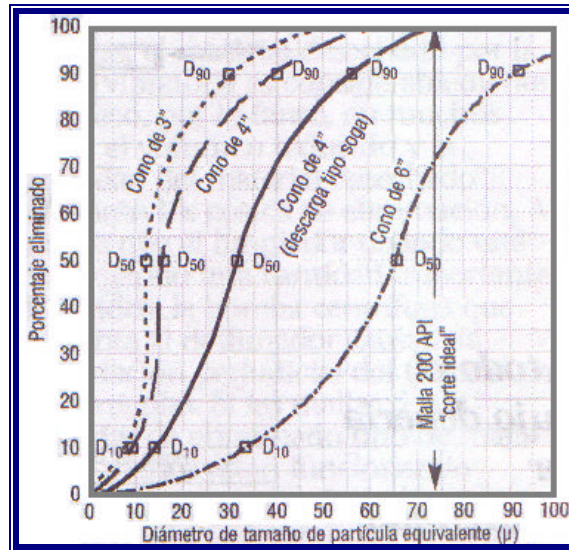


FIGURA N° 2.2.10: Punto de Corte de los Hidrociclones <sup>[2]</sup>

Una vez que se ha determinado el tamaño del hidrociclón a utilizar, se deberá saber cuál será su capacidad, para de esta forma seleccionar el número de conos a utilizar en la perforación del pozo.

Aunque sea difícil lograr un punto de corte preciso con los hidrociclones, estos dispositivos son simples, resistentes y de operación económica, y tienen una alta velocidad de procesamiento volumétrico.

### 2.2.3. EQUIPOS DE CLASIFICACIÓN HÚMEDA

#### 2.2.3.1 Desarenadores <sup>[5]</sup>

Se necesita usar desarenadores para impedir la sobrecarga de los deslimadores. Generalmente se utilizan hidrociclones de 6 pulgadas de diámetro interior o más grandes, con una unidad compuesta de dos hidrociclones de 12 pulgadas (ver Figura N° 2.2.11), cada uno de los cuales suele tener una capacidad de 500 gpm. Estos equipos tienen la capacidad de poder manejar grandes volúmenes de fluido, pero el inconveniente que tienen es que realizan grandes cortes de tamaños de partículas comprendidas entre el rango de 45 a 74 micrones.



FIGURA N° 2.2.11: Desarenador <sup>[5]</sup>

Estos equipos son prácticos en lodos densificados, ya que la barita es un material de tamaño limo, por lo que se recuperan de los desarenadores volúmenes de este material tan costoso. También son necesarios para evitar la sobrecarga de los deslimadores.

### 2.2.3.2 Deslimadores <sup>[5]</sup>

Para lograr la mejor eficiencia y evitar la sobredescarga del deslimador, todo el flujo deberá ser desarenado antes de entrar a los deslimadores. Por lo general se utilizan hidrociclones de diámetro interno de 4 pulgadas, con una unidad que contiene 12 o más hidrociclones, cada uno de los cuales suelen tener una capacidad de 75 gpm. La capacidad volumétrica apropiada para los deslimadores debería ser igual a 125 – 150% del galonaje de circulación (ver Figura 2.2.12).

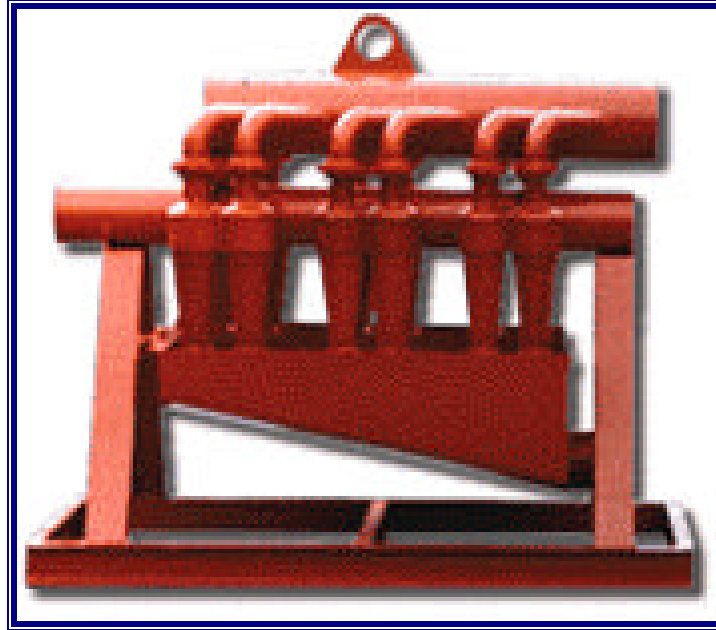


FIGURA N° 2.2.12: Deslimadores<sup>[5]</sup>

Un hidrociclón de 4 pulgadas bien operado puede tener un punto de corte de  $D_{50}$  de 40 micrones, por lo que la mayoría de la barita será separada del sistema de lodo por los deslimadores. Por esta razón los deslimadores son utilizados en sistema de lodo densificados no mayores de 12,5 lb/gal o en lodos no densificados (de baja densidad).

Toda aplicación de los deslimadores a los lodos densificados requiere de extremo cuidado para evitar el empleo de manera de reducir la densidad del lodo en un grado que sea antieconómico.

### 2.2.3.3 Limpiadores de Lodo<sup>[5]</sup>

Un Limpiador de Lodo es básicamente una serie de deslimadores generalmente de 12 o más hidrociclones de 4 pulgadas montados sobre una zaranda vibratoria de alta energía con malla de entramado fino (ver Figura 2.2.13).



FIGURA N° 2.2.13: Limpiador de Lodo<sup>[5]</sup>

El limpiador de lodo se encarga de separar los sólidos perforados de tamaño de arena del lodo, pero retiene la barita. De acuerdo con las especificaciones de la API, 97% de las partículas de barita tienen un tamaño inferior a 74 micrones; por lo tanto, la mayor parte de la barita será descargada por los hidrociclones y pasarán a través de la malla para luego ser devuelta al sistema mientras las partículas de sólidos más grandes retenidos en la malla serán desechados.

Los limpiadores desarenan los lodos densificados y son el respaldo de las zarandas, sus mallas pueden variar entre un tamaño de malla de 120 a 325 mesh, siempre con mallas de tamaños más finos que las de las zarandas, para que de esta forma, el limpiador de lodo constituya un dispositivo eficaz de control de sólidos.

Si las mallas de las zarandas vibratorias principales son de entramado fino (200 o menos mesh) y están funcionando correctamente, entonces puede ser que el limpiador de lodo no aporte ningún beneficio adicional al sistema de control de sólidos.

#### 2.2.3.4 Tres en Uno <sup>[1]</sup>

Este equipo consiste en una serie de ciclones desarenadores, deslimadores y una zaranda, él evita descargar líquido, y los ripios salen más secos. El Tres en Uno procesa el líquido descargado por las zarandas, y su descarga líquida es tratada por la centrífuga, en general

toda la descarga de los Tres en Uno requiere ser centrifugada. A continuación se presenta un Tres en Uno:



FIGURA N° 2.2.14: Equipo 3 en 1 <sup>[2]</sup>

El uso de este equipo debe ser limitado en situaciones donde hay un alto contenido de arena, en ese caso se debe usar un tamaño de malla suficientemente grande para separar la arena y el fluido recuperado debe ser tratado por una centrífuga. En la perforación de hoyos superficiales se recomienda utilizar desarenadores. En los hoyos intermedios y productores se debe utilizar cuando las zarandas tanto primarias como secundarias no sean suficientes para remover los sólidos generados en la perforación.

El número de conos a ser usados se selecciona de acuerdo a las condiciones de perforación. Como regla general, se debe usar las mallas más finas como sea posible y usar conos con la mayor tasa de flujo permisible.

### 2.2.3.5 Centrífugas

El uso de la centrífuga causa la eliminación de sólidos coloidales y algunos aditivos del lodo beneficiosos (sólidos) tales como la bentonita y los lignitos, por lo que es de suma importancia tener en cuenta esta pérdida de las propiedades del lodo, para así no tener problemas de perforación. Entonces, al utilizar la centrífuga, se procede a aumentar el



tratamiento con bentonita y otros aditivos para mantener en buen estado las propiedades del lodo de perforación. También será necesario la dilución y otros tipos de tratamientos, ya que el sistema de control de sólidos no es 100% eficiente, pero estos tratamientos serán en menor proporción si es utilizada la centrífuga (ver Figura N° 2.2.15).



FIGURA N° 2.2.15: Centrífuga <sup>[1]</sup>

- **Descripción de la Centrífuga de Decantación <sup>[2]</sup>:** está compuesta por un tazón cónico de acero horizontal que gira a una gran velocidad, con un tornillo transportador helicoidal en su interior. Este tornillo gira en la misma dirección que el tazón exterior, pero a una velocidad ligeramente más baja. El lodo es bombeado dentro del hueco del tornillo transportador, donde es expulsado hacia fuera, formando un anillo de lodo llamado “estanque”, donde el nivel de dicho estanque será determinado por la altura de los orificios de descarga de líquido en el gran extremo embridado del tazón. Luego la lechada fluye hasta los orificios, a través de dos canales formados por las aletas del tornillo, ya que los sólidos se acumulan contra la pared interior del tazón. A medida que la alta velocidad rotacional ocasiona la acumulación de los sólidos contra la pared interior del tazón, el tornillo transportador los empuja hacia el extremo del tazón, a través del área cónica seca (la playa), donde son separados todos los líquidos libres y son descargados los sólidos (ver Figura 2.2.16).

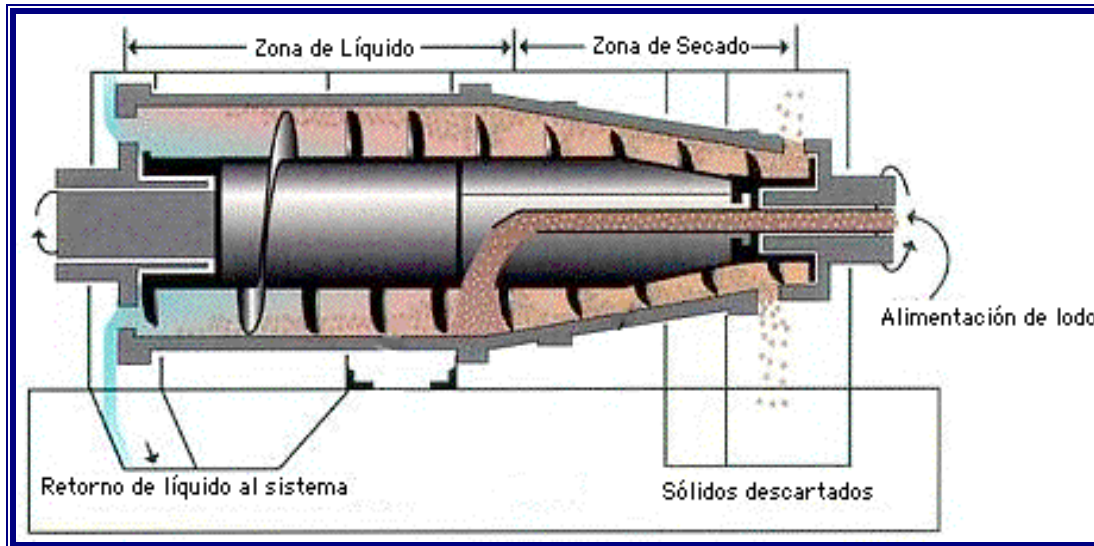


FIGURA N° 2.2.16: Estructura Interna de la Centrífuga de Decantación <sup>[1]</sup>

**Nota:** el punto de corte ideal es el tamaño de partícula al cual todas las partículas más finas son retenidas y las más grandes son separadas.

- **Descripción de la Centrífuga de Rotor Perforado** <sup>[6]</sup>: consiste en un tambor cilíndrico perforado con numerosos orificios de media pulgada, uniformemente distribuidos; este tambor rota en una posición horizontal dentro de una cámara cilíndrica estacionaria.

Esta cámara tiene empaques (retenes) en cada extremo para permitir el paso de los ejes del rotor (ver Figura 2.2.17).

Si bien trabaja sobre la base de un principio similar, la centrífuga de rotor perforado ahorra en promedio menos material densificante que la centrífuga de decantación y eso a pesar de que esa es la única función, puede ser utilizada, ya que tiene como única ventaja, en comparación con la centrífuga de decantación, que es muy fácil de transportar y que puede colocarse en cualquier sitio accesible cerca del pozo.

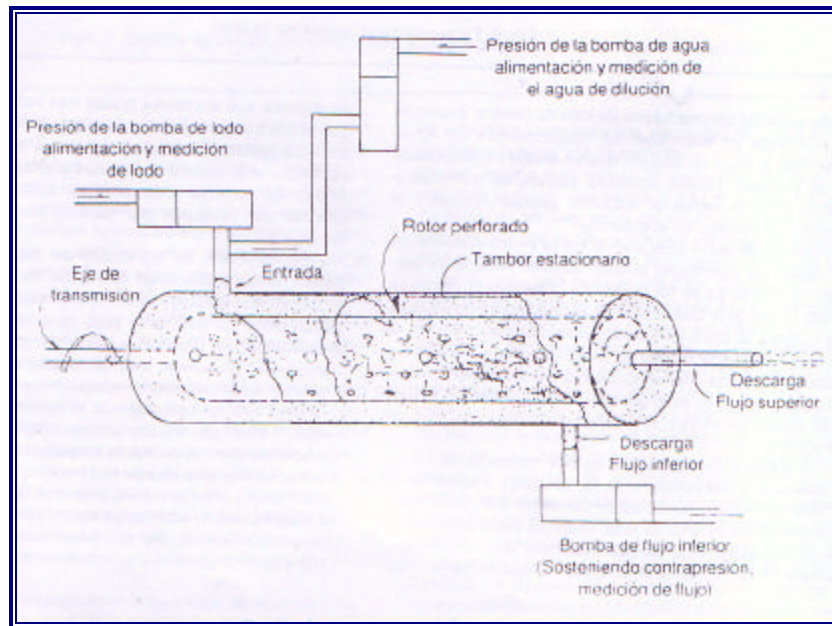


FIGURA N° 2.2.17: Estructura Interna de la Centrífuga de Rotor Perforado <sup>[6]</sup>

Las centrífugas usadas en los servicios del campo petrolífero son generalmente centrífugas del tipo decantador. Éstas son centrífugas rotativas de alta velocidad que pueden desarrollar una fuerza de separación de 600 á 800 o más “G”. Su diseño mecánico y su capacidad de lograr fuerzas centrífugas superiores a 500 G les permiten dar un tamaño de corte de partículas relativamente preciso. Uno de los inconvenientes de la mayoría de las centrífugas decantadoras es que tienen velocidades de procesamiento volumétrico relativamente bajas (<40 gpm), ya que sólo una pequeña porción del volumen en circulación puede ser procesado por una sola unidad.

### 2.2.3.5.1 Rendimiento de la Centrífuga <sup>[2]</sup>

Las centrífugas son capaces de realizar puntos de cortes muy finos; un  $D_{95}$  indica que, en base al peso, 95% de todas las partículas más grandes que el tamaño micrométrico  $D_{95}$  serán eliminadas. Generalmente en los sólidos densificados se tienen sólidos de diferentes gravedades específicas, por lo que el punto de corte será referido a las partículas que tienen la mayor gravedad específica (Ej.: la Barita), por esa razón el punto de corte para los sólidos de baja gravedad será hasta de 1,5 veces el número indicado (Ej.: lutitas y

Arcillas). Por esa razón a veces se recupera junto con la Barita alguna cantidad indeseable de limo, la cual puede ser devuelta al sistema.

### ***2.2.3.5.2 Dilución de la Lechada que se está alimentado dentro de la Unidad <sup>[2]</sup>***

Un aspecto importante en la operación de la centrifuga es la dilución de la lechada que entra en la unidad. El propósito de la Dilución es reducir la viscosidad de alimentación para de esta forma mantener la eficiencia de separación del dispositivo. Mientras la viscosidad del lodo sea más alta, más grande será la dilución requerida (2 o 4 gpm de agua y/o aceite), ya que para tener una operación eficaz de la centrifugas se necesitará tener una viscosidad de 35 a 37 segundos por cada cuarto de galón (**Punto de Dilución Crítica**), debido a que viscosidades superiores provocan un descenso en la velocidad de sedimentación y por ende una reducción de la eficiencia; pero valores por debajo provocarán exceso de agua en el sistema, que a su vez causará turbulencia dentro del tazón, reduciendo su eficiencia. Por esa razón, debe seguirse con sumo cuidado las recomendaciones de los fabricantes con respecto a las tasas de alimentación y a la velocidad de la cámara.

### ***2.2.3.5.3 Aplicaciones de la Centrífuga <sup>[2]</sup>***

Los aumentos de la viscosidad y de la resistencia de gel en el lodo de perforación, son los mejores indicadores de que debe ser empleada una centrífuga.

La reducción de los costos del lodo de perforación, sin sacrificar el control de las propiedades esenciales del mismo, es el principal propósito real y la justificación para emplear una centrifuga de decantación. Si bien sirve para controlar los sólidos finos indeseables, la principal función de la centrifuga es la de mantener en el lodo las condiciones aceptables y deseables de flujo, más no la de controlar el porcentaje total de sólidos en el sistema.

#### 2.2.3.5.4 Factores que afectan el desempeño de una Centrífuga <sup>[4]</sup>

- **Dimensiones:** Una centrífuga más grande es capaz de manejar mayor volumen de lodo.
- **Velocidad de rotación (RPM) / fuerza-G:** Una mayor velocidad de rotación implica según la siguiente ecuación, una mayor fuerza gravitacional inducida. Según la ecuación de Stokes, esto acelera la velocidad de separación sólido/líquido.

$$G = 0.0000142 * (D_{\text{interno}} [\text{Del recipiente interno}]) * (RPM)^2 \dots\dots\dots \text{Ecuación 2.2.3}$$

- **Viscosidad del fluido:** Normalmente se diluye el lodo de perforación antes de la centrífuga para mejorar su desempeño ya que, según la ecuación de Stokes, la viscosidad del fluido es inversamente proporcional a la velocidad de separación / sedimentación sólido / líquido.
- **Diámetro de partículas alimentado:** los sólidos de mayor diámetro son separados más fácilmente, siendo prácticamente imposible separar sólidos coloidales (menos de 2  $\mu$ ).
- **Densidad de los sólidos alimentados:** Para un mismo diámetro, la barita y hematita por ser más densos, se separan más rápidamente que los sólidos de baja gravedad.
- **Punto de corte:** Se reporta el diámetro de partícula promedio en ambas corrientes de salida. La precisión del punto de corte es la pendiente entre 90% y 10% si es más vertical, es mas preciso.

#### 2.2.4. OTROS MÉTODOS DE SEPARACIÓN DE SÓLIDOS <sup>[4]</sup>

Como generalmente los equipos mecánicos no pueden remover todo los sólidos de perforación generados, por lo cual la eficiencia de remoción de sólidos se encuentra generalmente en el rango de 60 a 90%, entonces la floculación, dilución o el descarte y dilución se hace necesario.

**2.2.4.1 Dilución**

Consiste en agregar el agua o lodo líquido necesario para mantener el contenido de sólidos (% en volumen) y por ende la densidad del sistema de lodo a medida que se va perforando.

Unas de las principales funciones de la dilución son:

- Reducir la concentración de sólidos dejados por un equipo mecánico de remoción de sólidos.
- Reemplazar los líquidos perdidos cuando se han usado equipos mecánicos de control de sólidos.

La necesidad de agregar fluido al sistema para mantener sus propiedades indica el incremento del contenido de sólidos. Esto puede traer como consecuencia la generación de volúmenes excesivos y entonces los costos de descarte y limpieza podrán ser muy grandes.

El costo de dilución en comparación con las otras técnicas de control de contenido de sólidos es alto por lo que es importante contar con un medidor de flujo de líquido para poder analizar y optimizar el comportamiento del sistema.

Es de importancia destacar que los costos de dilución incrementan para lodos de mayor densidad y menor tolerancia en cuanto al porcentaje de sólidos de baja gravedad (% LGS); y que en lodos densificados se diluye primero para disminuir el porcentaje de LGS y luego se densifica.

El factor de dilución se refiere a la relación entre la cantidad de fluido a ser añadido para dilución y cantidad de fluido actual en el sistema para obtener la densidad deseada.

$$\text{Factor de Dilución} = \frac{MW_r - MW_f}{MW_f - MW_d} \dots\dots\dots \text{Ecuación 2.2.4}$$

Como se puede ver en la Figura N° 2.2.18 se requiere de un gran volumen de líquido base para mantener la densidad del lodo de la cual en algunos casos por ejemplo por estar ubicado en zonas remotas no se dispone.

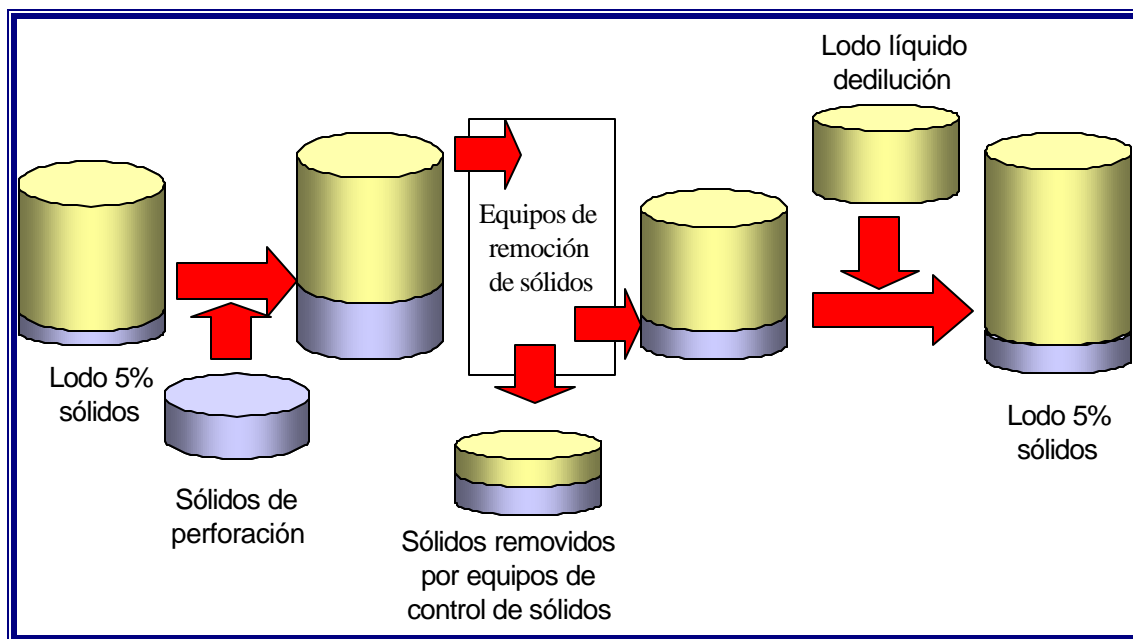


FIGURA N° 2.2.18: Proceso de Dilución <sup>[7]</sup>

#### 2.2.4.2 Descarte y Dilución

Este proceso consiste en eliminar parte del lodo concentrado en sólidos y mantener una porción para diluir con agua o lodo líquido para mantener la concentración de sólidos deseada. La Figura N° 2.2.19 muestra el proceso de descarte y dilución:

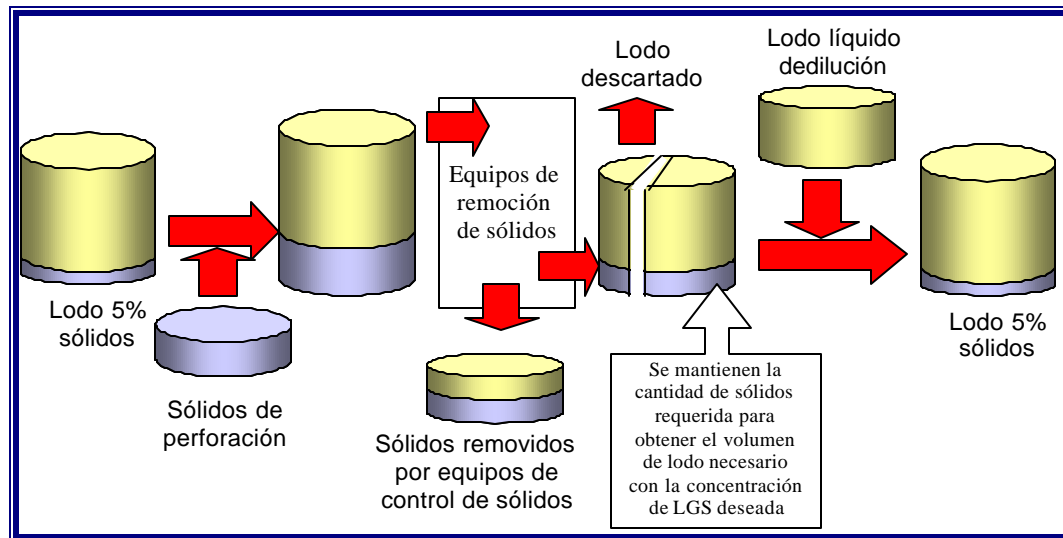


FIGURA N° 2.2.19: Proceso de Dilución y Descarte <sup>[7]</sup>

Los pasos que se deben realizar para la dilución y el descarte y la dilución son los siguientes:

- Botar primero el lodo usado igual al volumen de lodo nuevo a ser añadido, entonces añada lodo nuevo.
- Diluya el lodo al nivel de porcentaje de LGS deseado en un solo paso en vez de muchos pequeños pasos frecuentes.
- Mantenga el volumen total de lodo en el mínimo requerido.
- El programa de dilución debe ser planificado en lugar de dejarlo a la suerte.

### 2.2.4.3 Floculación

Este proceso consiste en agregar sustancias químicas "floculantes" o coagulantes para promover la formación de agregados de las partículas de mayor tamaño que precipitarán y/o serán separados más fácilmente.



**2.2.5. CÁLCULOS DE LA EFICIENCIA DE CONTROL DE SÓLIDOS <sup>[1]</sup>**

La eficiencia de los equipos de control de sólidos es una medida del rendimiento de los mismos, y representa el porcentaje de sólidos de perforación removidos del sistema. Usualmente la eficiencia de remoción de sólidos varía entre 60 y 90 %, aunque altas eficiencias son las más deseables. Para lograr bajo contenido de sólidos en el sistema se puede usar el método de dilución o descarte, pero estos procedimientos no son los más económicamente adecuados para lograr una buena eficiencia.

En la literatura existen diferentes métodos para determinar el rendimiento o la eficiencia de remoción, pero los mismos son basados en la normativa API, por esa razón se presentará a continuación dicha normativa.

**2.2.5.1 Método API <sup>[8]</sup>**

Este método permite el calcular la eficiencia de remoción de sólidos para un intervalo dado, usando un grupo de equipos de control de sólidos. El procedimiento utilizado para la determinación de los parámetros necesarios para el cálculo de la eficiencia de este método serán explicada a continuación:

1. Densidad del lodo en la succión del hoyo, salinidad de los sólidos y datos de la retorta:

Mida y anote todos los pesos del lodo de la succión del hoyo, salinidad y data de sólidos de la retorta para el intervalo de interés.

2. Mida y anote la adición de fluido base del lodo ( $V_{bf}$ ):

Los instrumentos de medición pueden proveer el volumen actual de fluido base usado con la precisión del equipo. El más comúnmente usado de los métodos para medir el consumo del fluido base son la turbina mecánica, el impulsor y los tipos de componentes. Los medidores magnéticos y dooples son los más dependientes de los sólidos en suspensión

en los fluidos para proveer la medición de los volúmenes. La medición del medidor es crítica para la precisión, las tablas de aceptación de los tamaños de líneas por volumen, a través de la postura están incluidas en AWWA C700 serie standard. La prueba para todos los medidores puede ser volumétrica o por peso, si las escalas de precisión están disponibles. El volumen disponible debe estar entre el 0,25 % del volumen verdadero. Utilice coladores aguas arriba del medidor y verifique frecuentemente por obstrucciones.

### 3. Determine la fracción del fluido base (Fbf):

La fracción del fluido base es el promedio del valor para el intervalo en cuestión. El método para promediar es crítico y es importante para usar el mismo método en un intervalo para buenas comparaciones. Utilizar diferentes métodos para el promedio puede resultar en unas comparaciones imprecisas, la fracción del fluido base puede ser calculada de los métodos de análisis de los sólidos como el de la retorta, y mediciones exactas.

### 4. Determine la fracción de sólidos perforados (Fds):

Esta fracción puede ser calculada por bastantes métodos, por simples análisis de sólidos, el cual corrige por concentraciones de bentonitas y sal, métodos de balance de materiales complejos el cual corrige por componentes adicionales como aditivos comerciales. La fracción de sólidos perforados es el promedio por intervalo, entonces el método para promediar es de nuevo crítico. Estudios sensibles de los efectos de las fracción de sólidos perforados en el factor de dilución final muestra una diferencia significativa; es posible una diferencia significativa al utilizar diferentes métodos de promedio. Las comparaciones son válidas cuando se utilizan métodos de promedios iguales.

Luego de haber explicado el procedimiento del Método API se procede ahora a presentar las ecuaciones utilizadas en el programa.

1. Cálculo del volumen de lodo preparado ( $V_{mb}$ ):

El volumen del lodo preparado es determinado desde la fracción del fluido base:

$$V_{mb} = \frac{V_{bf}}{F_{bf}} \dots\dots\dots \text{Ecuación 2.2.5}$$

Donde:

- $V_{mb}$  = Volumen de lodo preparado [ $m^3$ ].
- $V_{bf}$  = Adición de fluido base del lodo [ $m^3$ ].
- $F_{bf}$  = Fracción del fluido base [Adimensional].

2. Calcule el volumen perforado de sólidos perforados ( $V_{ds}$ ):

Este valor puede ser determinado a través de las dimensiones del hoyo, esto es longitud y diámetro (Considera el hoyo cilíndrico).

$$V_{ds} = \frac{H * D_{hoyo}^2 * (1 + W)}{1029 * 6.29} \dots\dots\dots \text{ECUACIÓN 2.2.6}$$

Donde:

- $V_{ds}$  = Volumen cortado de sólidos perforados [ $m^3$ ].
- $D_{HOYO}$  = Diámetro de la sección perforada [pulg].
- $W$  = Factor de ensanchamiento, Washout [Adimensional].
- $H$  = Profundidad [Pies].

## 3. Cálculo de la Dilución total (DT):

La dilución total es como el volumen del lodo que será preparado si no existiese un sistema de remoción de sólidos. En este caso todos los sólidos perforados serán incorporados en el sistema del lodo, con la dilución siendo la única forma de control de sólidos. La calidad del lodo y el desempeño de la perforación permanecerá igual si se utiliza dilución exclusivamente o si se utiliza un sistema de remoción:

$$DT = \frac{Vds}{Fds} \dots\dots\dots \text{Ecuación 2.2.7}$$

Donde:

$Fds$  = Fracción de sólidos perforados [Adimensional].

$DT$  = Dilución total [ $m^3$ ].

#### 4. Cálculo del factor de dilución (DF):

El factor de dilución es la división del volumen de lodo preparado entre la dilución total. Es la tasa de lodo usada para perforar realmente un intervalo usando un sistema de remoción de sólido como una comparación de utilizar solo dilución, en ambos caso el nivel de sólidos perforados en el lodo permanece constante y aparece en ambos cálculos. A menor factor mayor será la eficiencia del sistema:

$$Df = \frac{Vmb}{DT} \dots\dots\dots \text{Ecuación 2.2.8}$$

Donde:

$Df$  = Factor de dilución [Adimensional].

#### 5. Cálculo del desempeño del sistema de remoción de sólidos perforados:

$$SP = (1 - Df) * 100 \dots\dots\dots \text{Ecuación 2.2.9}$$

Donde:

$SP$  = Desempeño del sistema de remoción de sólidos perforados [%].

**2.2.6. DISPOSICIÓN DE LOS EQUIPOS DE CONTROL DE SÓLIDOS <sup>[2]</sup>**

La instalación correcta del equipo es esencial para lograr la capacidad máxima de separación de los equipos de control de sólidos. Los equipos mecánicos se disponen generalmente en orden decreciente, según el tamaño de partícula que eliminarán.

Aunque desde el punto de vista técnico, un desgasificador, o separador de lodo-gas, no sea un dispositivo de remoción de sólidos, este dispositivo debería siempre estar ubicado inmediatamente después de las zarandas, porque las bombas centrífugas y los equipos de control de sólidos no funcionan eficazmente con el lodo cortado por gas.

Una “trampa de arena” es un tanque de asentamiento que puede ser beneficioso para un sistema de limpieza de lodo marginal. Ubicada debajo o directamente después de la zaranda, la trampa de arena puede captar las partículas de gran tamaño que podrían dañar los equipos ubicados corriente abajo, si una malla tiene algún agujero o si el lodo contornea la zaranda. La gravedad es la fuerza que actúa sobre las partículas, así que este compartimento nunca debe ser agitado o usado como dispositivo de succión o descarga para los hidrociclones.

Este tipo de trampa también es esencial para mantener un sistema de lodo con un contenido mínimo de sólidos. También pueden ayudar a mejorar la eficiencia del control de sólidos las siguientes pautas:

1. Nunca usar la misma bomba de alimentación para diferentes tipos de equipos de control de sólidos (desarenador, deslimador, limpiador de lodo, centrífuga). Esto puede hacer que parte del fluido se desvíe del equipo o que algunas partes específicas del equipo estén sometidas a cargas excesivas.
2. Nunca descargar dentro del mismo tanque que contiene la alimentación. Esto permitirá que una porción importante del flujo contornee el equipo de control de sólidos sin ser tratada.

3. Nunca tomar la alimentación corriente abajo de la descarga. Esto también permite que una porción importante del flujo contornee el equipo de control de sólidos.
4. Seleccionar el tamaño de los desarenadores y deslimadores de manera que se cree un “contraflujo” desde el compartimento del tanque corriente abajo hacia el compartimento de alimentación. Esto asegurará que 100% del flujo total será procesado.
5. Nunca tomar la alimentación de un equipo de control de sólidos a partir del tanque de mezcla. Esto eliminará los productos químicos que son agregados al lodo. Esto ocurre con mayor frecuencia en los equipos de perforación donde se está usando la bomba centrífuga de la tolva mezcladora para alimentar al equipo de control de sólidos.

Desde la Figura 2.2.20 a la 2.2.24 muestran instalaciones típicas de la mayoría de los equipos de control de sólidos. Se supone que cada tanque (excepto la trampa de arena) está siendo mezclado minuciosamente con mezcladores de tanque de aletas.

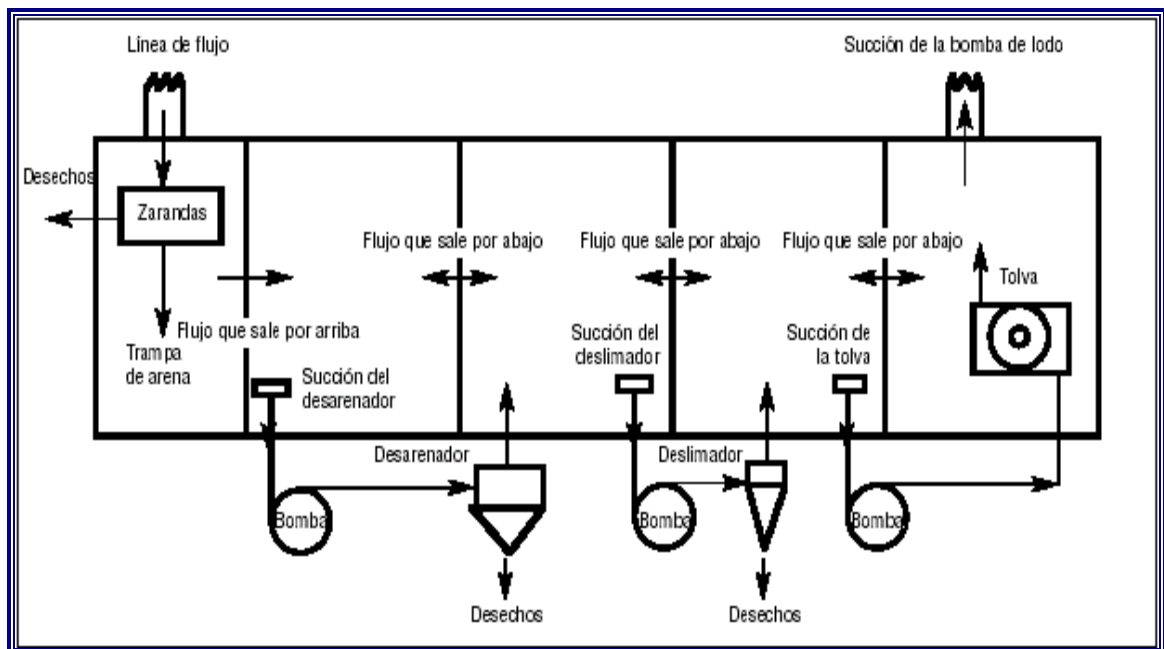


FIGURA N°2.2.20: Sistema Básico para Lodo No Densificado <sup>[2]</sup>

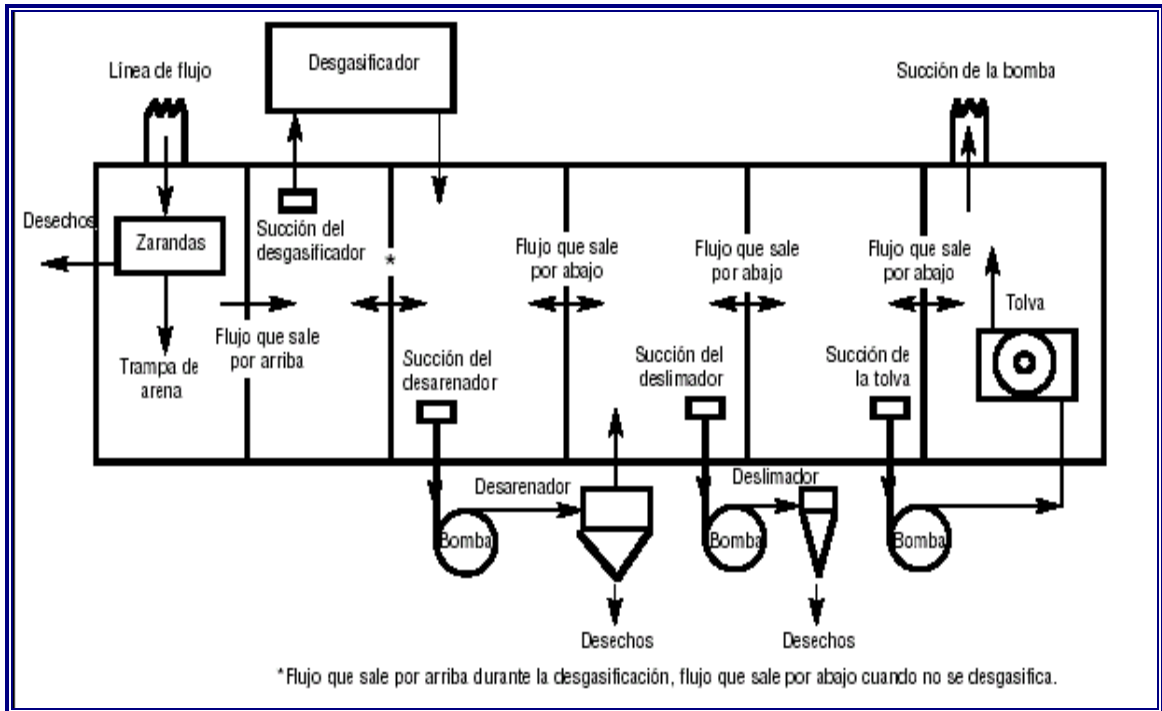


FIGURA N° 2.2.21: Sistema para Lodo No Densificado con Desgasificador [2]

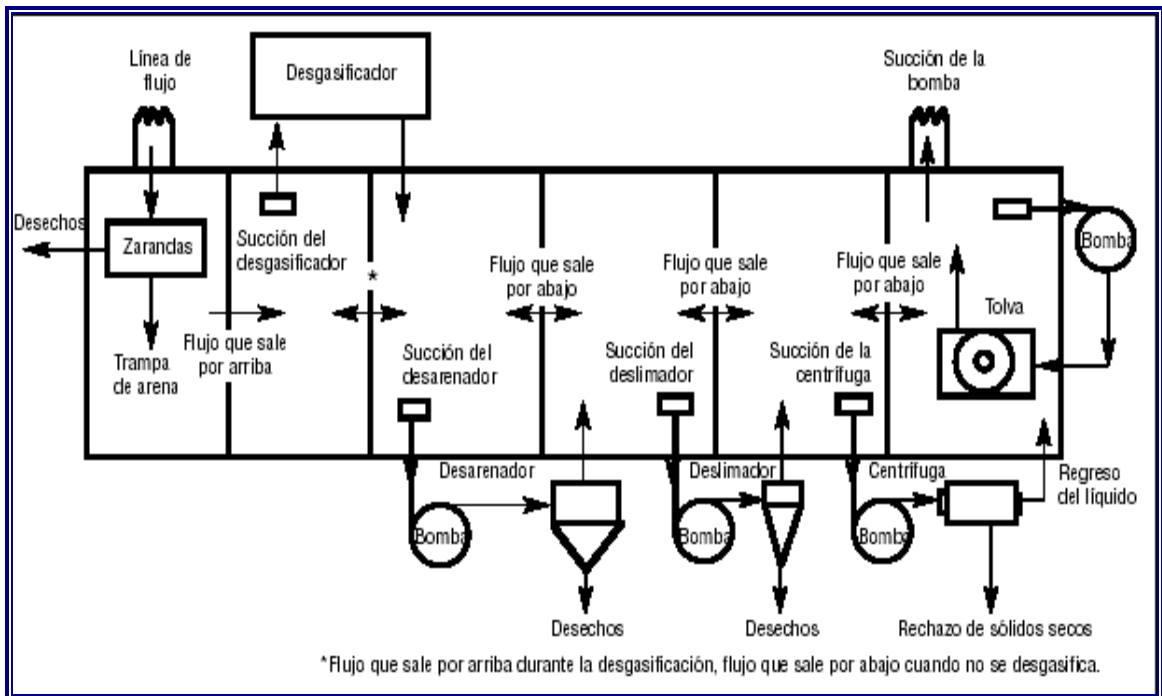


FIGURA N° 2.2.22: Sistema para Lodo No Densificado con Centrifuga [2]

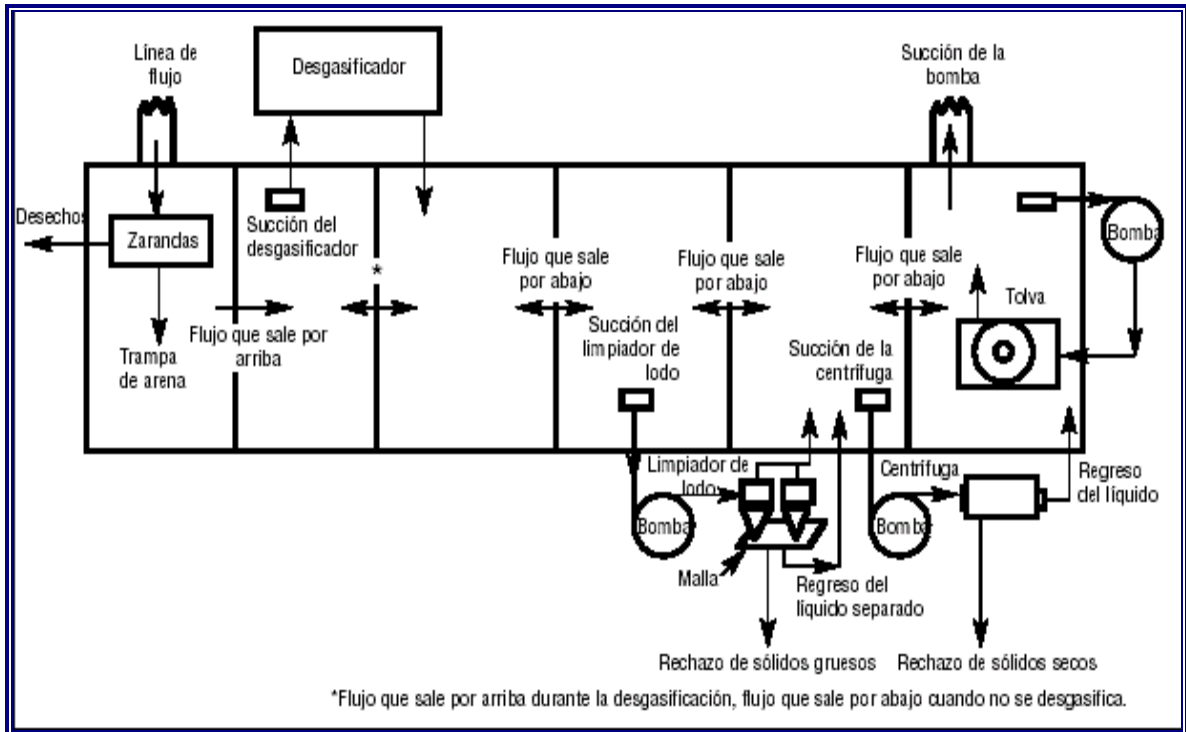


FIGURA N° 2.2.23: Sistema para Lodo Densificado con Limpiador de Lodo y Centrifuga [2]

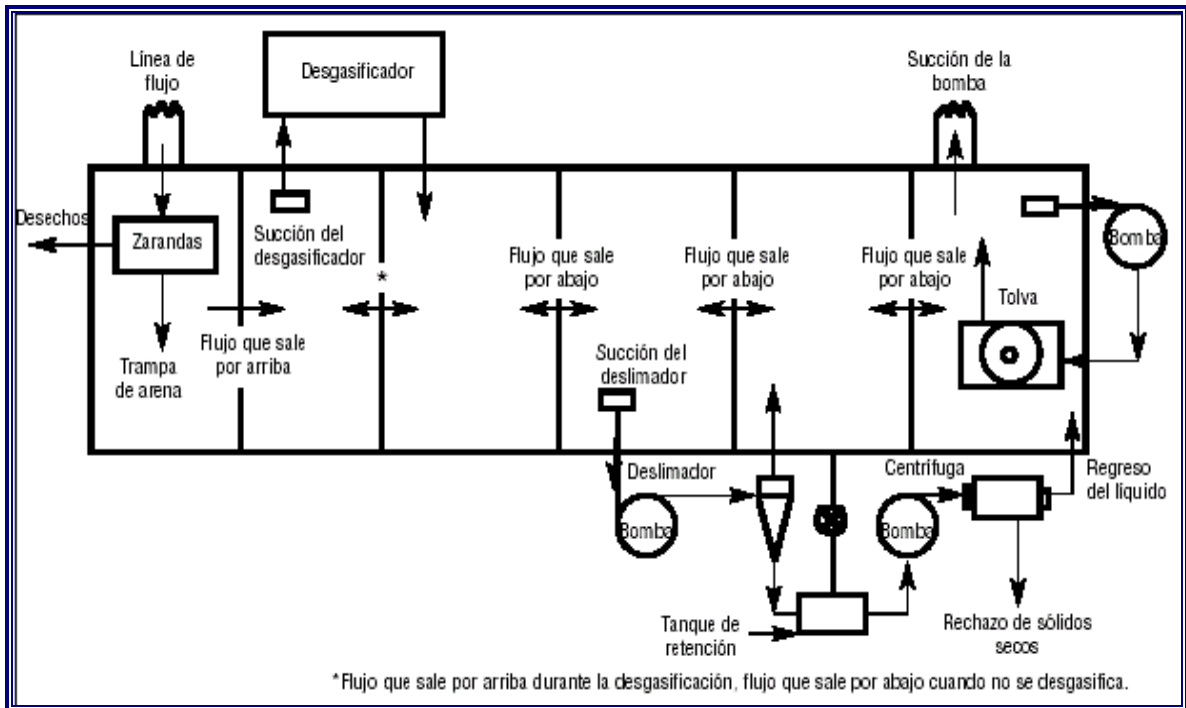


FIGURA N° 2.2.24: Sistema para Lodo Densificado con Centrifugación del Flujo que Sale de los Hidrociclones [2]



## **DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO**

### **3.1 DESCRIPCIÓN**

Con la finalidad de incrementar la productividad de los pozos y disminuir el impacto ambiental, se ha incorporado una serie de tecnologías de punta en los sistemas de control de sólidos de los taladros de perforación, tales como:

- Un divisor de flujo a la salida del pozo, el cual permite distribuir el volumen emergente uniformemente hacia las zarandas, equipos primarios de control de sólidos. El divisor de flujo al mejorar la distribución del fluido hacia las zarandas, permite el uso de mayores tasas de circulación y mejora la relación de área de malla disponible con respecto al volumen total de fluido procesado.
- Las zarandas de movimiento elíptico balanceado, distribuyen mejor la cantidad de fuerza G, permitiendo el uso de mallas más finas y mayores tasas de circulación sin causar derrames de fluidos en la localización, como usualmente ocurre con los equipos convencionales.
- Sustitución de la zaranda secadora por una centrífuga secadora de alta potencia, lo cual permitiría tener cerca del 5 % del líquido asociado a los cortes, recuperando de esta forma más fluido, esto podría ser reincorporado de nuevo al sistema, inmediatamente después de un tratamiento, y ocasionando posteriormente la descarga de los sólidos, con el fin de permitir la integración inmediata al ambiente.

Por tal motivo, surgió la necesidad de efectuar un análisis detallado de los mecanismos utilizados actualmente por las empresas de servicios, para la evaluación de los equipos de control de sólidos de última generación; ya que dichos mecanismos carecen de efectividad, por los errores detectados en la conceptualización y en el procedimiento empleado en la toma de muestra.

Se decide, mejorar los medios utilizados por las empresas de servicios, tales como: el programa de porcentaje en volumen y el programa de porcentaje en peso, entregados por dichas empresas; con el propósito de obtener buenos resultados al momento de evaluar los equipos de control de sólidos.

La metodología de muestreo para evaluar el sistema de control de sólidos, por parte de estos programas, se fundamenta en la recolección de muestras por cada equipo en particular, tomando en consideración el volumen y el tiempo de toma de muestra, para posteriormente establecer los flujos máxicos de descarga de cada equipo y determinar la eficiencia global de todo el sistema (Figura N° 3.1.1.).

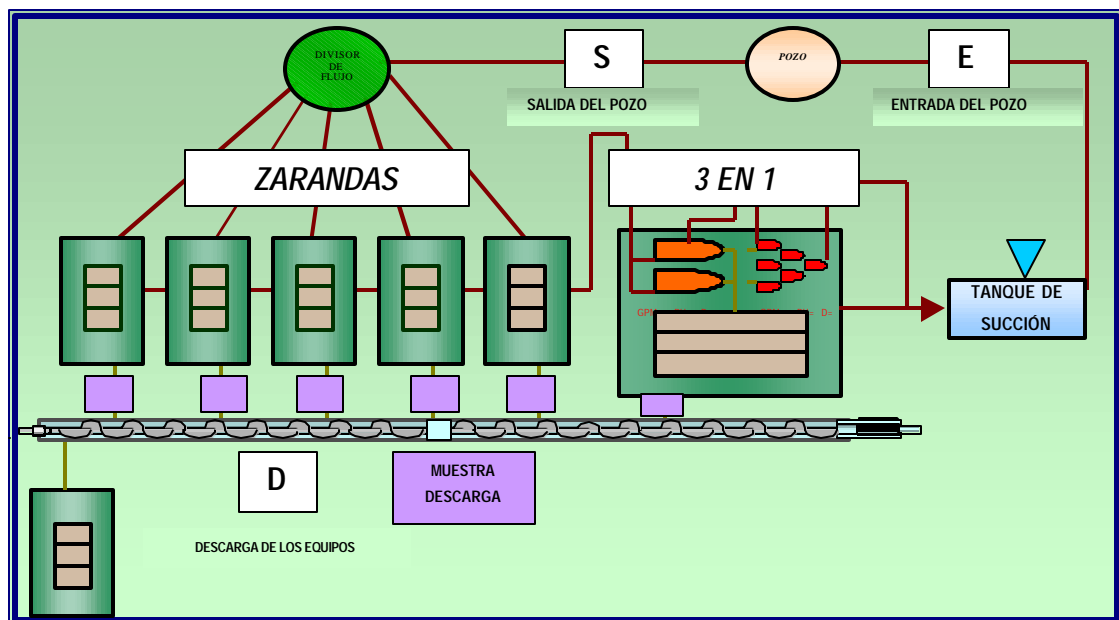


FIGURA N° 3.1.1: Esquema de Toma de Muestra, Individual por Equipo

En los programas mencionados con anterioridad, se detectó que el concepto de eficiencia estaba relacionado con los flujos máxicos a la descarga de los equipos de control de sólidos y con la geometría del pozo.

Dada las limitaciones conceptuales y operacionales presentadas por los medios de evaluación, surgió la necesidad de crear un nuevo concepto de eficiencia. Y junto con este concepto se elaboró una metodología de evaluación del sistema de Extracción de sólidos,

basado en una nueva definición de los objetivos funcionales de los equipos de remoción, sin tomar en cuenta el volumen y tiempo de toma de muestra, para aplicar dicha metodología se necesitará tomar muestras a la salida del pozo, a la descarga del sistema de extracción de sólidos y el valor de densidad a la entrada del pozo, tal como se observa en la Figura N° 3.1.2.

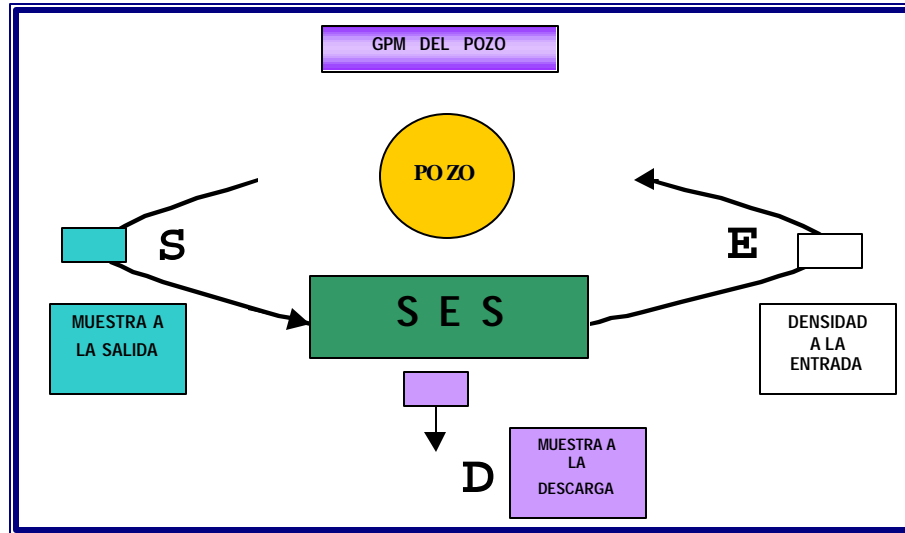


FIGURA N° 3.1.2: Esquema de Toma de Muestra, Global del Sistema

## 3.2 METODOLOGÍA

La metodología en el presente trabajo se desarrolló de tal manera, que permitió realizar un análisis detallado de las formas empleadas por las empresas de servicios para la evaluación del sistema de control de sólidos.

Para el desarrollo y aplicación de la metodología, se utilizó como herramienta principal de trabajo el programa *Excel de Microsoft Office*, con el cual se verificaron las ecuaciones de los programas entregados por las empresas de servicios, y donde se diseñó un nuevo programa de cálculo de la eficiencia de los equipos de control de sólidos de última generación. En la Figura N° 3.2.1 se presenta un esquema metodológico aplicado en la elaboración del trabajo.



FIGURA N° 3.2.1: Esquema de Metodología de Trabajo

### 3.2.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

El primer paso para el desarrollo del presente trabajo consistió en la revisión bibliográfica, esto con la finalidad de recopilar toda la información y el material necesario para la

comprensión del funcionamiento del sistema de control de sólidos y de los mecanismos de evaluación de los mismos.

La revisión se fundamentó en el material bibliográfico relacionado con el tópico del trabajo y en reuniones que se sostuvieron con personal de las empresas de servicios especialistas en control de sólidos, para conocer acerca de las formas utilizadas actualmente para la evaluación de los equipos de separación, adicionalmente se asistió a charlas relacionadas con evaluación de nuevas tecnologías incorporadas en el control de sólidos de los taladros de perforación.

### **3.2.2 ANÁLISIS DE LOS MECANISMOS DE EVALUACIÓN**

El análisis de los mecanismos de evaluación del sistema de control de sólidos se siguió por los pasos presentados en la Figura N° 3.2.2, conformado por la recopilación y revisión de la información, introducción de nuevas ecuaciones en el balance de masa y finalmente la validación de dichas ecuaciones.



**FIGURA N° 3.2.2: Esquema de Análisis de los Mecanismos de Evaluación**

3.2.2.1 Recopilación de Información

La recopilación de la información se fundamentó en la recolección de las formas empleadas actualmente para la evaluación de los sistemas de control de sólidos, y es de destacar que la misma comprende un proceso muy delicado y de suma importancia, ya que de este proceso dependerá la credibilidad y confiabilidad de los resultados obtenidos en el presente trabajo. La información suministrada por la empresa de servicio fue de gran utilidad, la cual se fundamentó en la entrega de los programas de porcentaje en volumen y porcentaje en peso.

3.2.2.1.1 Programa de porcentaje en volumen

La empresa de servicio suministró el programa en Excel (Figura N° 3.2.3), utilizado frecuentemente para la evaluación del sistema de control de sólidos, basado en el porcentaje en volumen reportado por la retorta. Adicionalmente se recolectó datos de la mayoría de las secciones perforadas por un pozo de la zona oriental del país.

EQUIPOS													PRIMARIOS										CENTRIFUGA			SHAKER SECADOR
DESCRIPCION	SHAKER 1			SHAKER 2			SHAKER 3			SHAKER 4			SHAKER 5			3:1			N°1							
	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	250	250	250								
MALLAS																										
D. ENTRANDO	3,5			3,5			3,5+			3,5			3,5			3,5			3,40							
D. SALIENDO	3,4			3,4			3,4			3,4			3,4			3,2			8,70							
T.D. SÓLIDOS (R) seg	35,00			36,00			35,00			35,00			36,00			30,00			6,00							
D. SÓLIDOS (D) (Peso)	15,20			15,20			15,20			15,30			15,20			15,20			16,50							
Σ VOL SÓLIDOS (Vs)	58,00			56,00			58,00			58,00			56,00			56,00			58,00							
Σ VOL LÍQUIDO (Vl)	42			44			42			42			44			44			42,00							
Sólidos Húmedos Descartados	1	390,86		380,00			390,86			393,43			380,00			456,00				Σ¡VALOR!						
Sólidos Secos Descartados	2	316,99		304,76			316,99			319,56			304,76			345,91				Σ¡VALOR!						
Lb <sup>3</sup> Líquido descartado	3	73,87		75,24			73,87			73,87			75,24			110,09				Σ¡VALOR!						
Σ Eficiencia individual		15,41		14,81			15,41			15,53			14,81			16,81				Σ¡VALOR!						
ASG SÓLIDOS	4	2,8		3,0			2,8			2,9			3,0			2,3				Σ¡VALOR!						
LGΣ PESO	5	2,5		2,4			2,5			2,5			2,4			2,9				Σ¡VALOR!						
RPM MOTOR		1.800,00		1.800,00			1.800,00			1.800,00			1.800,00			1.800,00				1.768,00						
LONGITUD STROKE		0,16		0,16			0,16			0,16			0,16			0,16				0,16						
FUERZA G		7,4		7,4			7,4			7,4			7,4			6,9				7,1						
Total Sólidos Húmedos Descartados							811,45													6						
Total Sólido Secos Descartados							1246,06													7						
lbs/h Sólidos perforados							2057 1/2													8						
Total Eficiencia							32,78													9						

FIGURA N° 3.2.3: Programa en Excel de Porcentaje en Volumen

El procedimiento de toma de muestra para recolectar los datos que alimenta dicho programa es el siguiente:

- Se tomó una muestra de sólidos húmedos a la descarga de cada zaranda y en el 3 en 1, debido a que como se explicó anteriormente, el sistema de control de sólidos de última generación está conformado por un conjunto de zarandas y un 3 en 1. Tal como se mostró en la Figura N° 3.1, solo con la toma de muestra a la descarga de cada equipo se determinó la eficiencia global de todo el sistema.
- La muestra se tomó con un envase de  $\frac{1}{4}$  de galón y se midió el tiempo en el cual la persona tomó dicha muestra.
- Se determinó la densidad de cada una de las muestras con una balanza de lodo.
- A cada muestra se le realizó la prueba de porcentaje en volumen de la retorta, explicada en el fundamento teórico. Y luego se reportó el porcentaje de líquido y sólido de cada muestra.

#### ***3.2.2.1.2 Programa de porcentaje en volumen***

La empresa de servicio suministró el programa en Excel (Figura N° 3.2.4), basado en el porcentaje en peso reportado por la retorta. Adicionalmente se recolecto datos de la sección perforada de un pozo de la zona occidental del país.

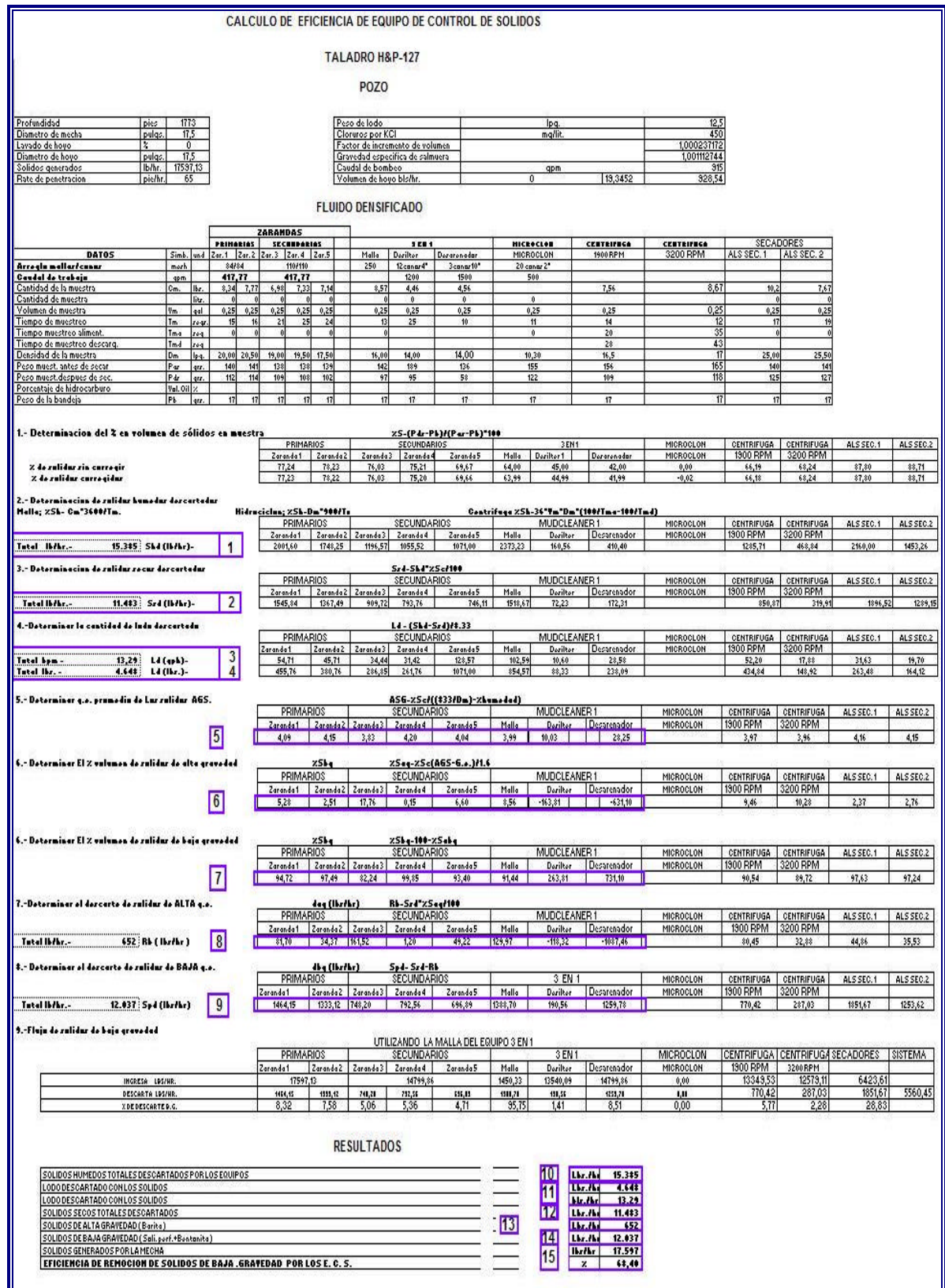


FIGURA N° 3.2.4: Programa en Excel de Porcentaje en Peso



El procedimiento de toma de muestra para recolectar los datos que alimenta dicho programa, fue similar al anterior, y las diferencias se presentan a continuación:

- En este procedimiento de toma de muestra, no se consideró el volumen de la muestra, sino el peso de la misma obtenido y reportado a través de una balanza.
- A cada muestra se le efectuó la prueba de porcentaje en peso. Posteriormente se reportó el porcentaje de líquido y sólido de cada muestra.

### 3.2.2.2 Revisión de la Información

Una vez finalizada la recolección de la información se revisó los mecanismos de evaluación y el concepto de eficiencia utilizado por cada uno de los programas entregados.

#### 3.2.2.2.1 Programa de porcentaje en volumen

Esta forma empleada para evaluar el sistema de control de sólidos, se basa en la determinación de la eficiencia, a través del cálculo de los sólidos secos descargados por los equipos de control de sólidos, tomando en cuenta el tiempo y el volumen de toma de muestra, tal como se muestra en la siguiente ecuación deducida en el **Apéndice G**.

$$\dot{m}_{\text{SÓL.SECOS.DESC}} = \frac{(r_{\text{SÓL.HUM.DESC}} - \%Vol_{\text{LIQ.}} * r_{\text{LIQ.}}) * Vol_{\text{TOMA.MUESTRA}}}{t_{\text{TOMA MUESTRA}}} * \left[ 3600 \frac{\text{seg}}{\text{Hr}} \right] \dots \text{Ecuación 3.2.1}$$

Adicionalmente, el programa realiza un cálculo teórico de los sólidos de formación generados por la mecha, presentado en la siguiente ecuación (**Apéndice G**).

$$\dot{m}_{\text{SÓL. PERF. GENERADOS}} = 0,339863 * (D_{\text{HOYO}})^2 * GE_{\text{ROCA}} * ROP \dots \text{Ecuación 3.2.2}$$

La eficiencia en este programa se define como el total de sólidos secos descartados por el sistema con relación a los sólidos de formación generados por la mecha, tal como se muestra en la siguiente ecuación (**Apéndice G**).

$$Ef_{EQUIPOS} = \frac{\sum \dot{m}_{SÓLIDOS SECOS DESCARTADOS. i}}{\dot{m}_{SÓLIDOS PERF. GENERADOS}} * 100 \quad \text{..... Ecuación 3.2.3}$$

### 3.2.2.2 Programa de porcentaje en peso

Esta manera de evaluar el sistema de control de sólidos, se fundamenta en la determinación de la eficiencia, a través del cálculo de los sólidos de baja gravedad descargados por los equipos de control de sólidos, tomando en cuenta el tiempo de toma de muestra al calcular los sólidos secos en la descarga, tal como se muestra en la siguiente ecuación deducida en el **Apéndice G**.

$$\dot{m}_{SOL. BG.} = \% \dot{m}_{SOL. BG.} * \dot{m}_{SÓL.SECOS.DESC} \quad \text{..... Ecuación 3.2.4}$$

Adicionalmente, el programa efectúa un cálculo teórico de los sólidos de formación generados por la mecha, análogo al presentado en el programa de porcentaje en volumen.

La eficiencia en este programa se define como el total de sólidos de baja gravedad descartados por el sistema con relación a los sólidos de formación generados por la mecha, tal como se muestra en la siguiente ecuación deducida en el **Apéndice G**.

$$Ef_{EQUIPOS} = \frac{\dot{m}_{SBG.DESC.TOTAL}}{\dot{m}_{SÓLIDOS PERF. GENERADOS}} * 100 \quad \text{..... Ecuación 3.2.5}$$

### 3.2.2.3 Introducción de nuevas ecuaciones en el balance de masa

Finalizado el proceso de revisión conceptual de los medios de evaluación del sistema de control de sólidos, se planteó la introducción de una serie de ecuaciones en el cálculo de los

flujos másicos, ya que los programas entregados no las tomaron en cuenta y las mismas son de suma importancia para cuantificar el líquido y el densificante perdido en el proceso de remoción de sólidos.

### 3.2.2.3.1 Programa de porcentaje en volumen

Se tomó la decisión de introducir ecuaciones que tomen en cuenta tipos de lodos emulsionados, es decir, lodos donde existieran dos fases presentes (agua y petróleo), ya que en el programa no se calculó la gravedad específica del líquido, sino que se utilizó la gravedad específica de la fase continua. La ecuación de gravedad específica del líquido fue deducida en el **Apéndice H**.

$$GE_{LIQUIDO} = \frac{\%Vol._{AGUA} * GE_{AGUA} + \%Vol._{ACEITE} * GE_{ACEITE}}{\%Vol._{LIQUIDO}} \quad \dots \text{Ecuación 3.2.6}$$

Además, el programa no tomó en consideración la cantidad de densificante que descartaba el sistema, por lo tanto, se decidió introducir la ecuación de flujo másico de sólidos de alta gravedad descartados (**Apéndice H**).

$$\dot{m}_{DENSIFICANTE\_DESCARTADO} = \%Vol._{DENSIFICANTE} * \dot{m}_{SÓL.SECOS.DESC} \quad \dots \text{Ecuación 3.2.7}$$

### 3.2.2.3.2 Programa de porcentaje en peso

En este programa no se tomó en cuenta, la gravedad específica del líquido, por lo cual se decidió introducir la siguiente ecuación (**Apéndice H**).

$$GE_{LIQUIDO} = \frac{1}{\left( \frac{\%m_{AGUA.RESP.LIQ.}}{GE_{AGUA}} + \frac{\%m_{ACEITE.RESP.LIQ.}}{GE_{ACEITE}} \right)} \quad \dots \text{Ecuación 3.2.8}$$

#### **3.2.2.4 Validación de las nuevas ecuaciones**

Para verificar la importancia e influencia que tienen estas nuevas ecuaciones en la evaluación del sistema de control de sólidos, se elaboró un programa en Excel con las modificaciones en las ecuaciones y se validó con datos de campo, para luego realizar las comparaciones de la cantidad de densificante y líquido descartado, con el programa comercial de porcentaje en volumen entregado.

#### **3.2.3 NUEVO CONCEPTO DE EFICIENCIA Y MEJORAS EN LOS MEDIOS DE EVALUACIÓN**

En vista de las limitaciones presentadas por los programas de evaluación y de los errores conceptuales encontrados en los cálculos de eficiencia, se decidió diseñar un nuevo concepto de eficiencia basado en una nueva definición de los objetivos funcionales de los equipos de remoción.

Se trató de incluir el nuevo concepto de eficiencia en los programas reformados, pero esto implicó realizar los mismos cálculos del flujo másico a la salida del pozo, y debido a las altas tasas de circulación del mismo, el tiempo de toma de muestra a la salida resultó ser muy bajo y pequeños cambios en los decimales arrojaban resultados de eficiencia completamente distintos. Por todo lo mencionado anteriormente se tomó la decisión de no utilizar el programa reformado de las empresas de servicios para calcular la eficiencia.

Al ver que no se contaba con un método confiable para la determinación de la eficiencia se plantea un estudio del sistema de control de sólidos desde un punto de vista global, para así no ir al detalle por equipo, tal como lo venían haciendo actualmente los medios de evaluación. Adicionalmente no se tomó en cuenta el volumen y el tiempo de toma de muestra, ya que los mismos representaron parámetros problemáticos y de poca confiabilidad.

El nuevo método de evaluar del sistema de control de sólidos, basado en una nueva definición de los objetivos funcionales de los equipos de remoción, realiza el cálculo de los sólidos de formación descargados por el sistema de control de sólidos (**Apéndice I**), mediante la siguiente expresión:

$$\dot{m}_{SÓL.PERF.DESC} = (1 - \%Vol_{ADIT.BG.} - \%Vol_{DENSIF}) * \dot{m}_{SÓL.SECOS.SIN.SALES.DESC} \dots \text{Ecuación 3.2.9}$$

Análogamente, el programa realiza el cálculo de los sólidos de formación a la salida del pozo, tal como se muestra en la siguiente ecuación (**Apéndice I**).

$$\dot{m}_{SÓL.PERF.SALD} = (1 - \%Vol_{ADIT.BG.} - \%Vol_{DENSIF}) * \dot{m}_{SÓL.SECOS.SIN.SALES.DESC} \dots \text{Ecuación 3.2.10}$$

En consecuencia, la eficiencia en este nuevo programa se define como el total de sólidos de formación descartados por el sistema con relación a los sólidos de formación a la salida del pozo, tal como se muestra en la siguiente ecuación deducida en el **Apéndice I**.

$$Ef_{SCS} = \frac{\dot{m}_{SÓL.PERF.DESC}}{\dot{m}_{SÓL.PERF.SALD}} * 100 \dots \text{Ecuación 3.2.11}$$

Adicionalmente, el programa reporta la cantidad de sólidos de alta gravedad y el volumen de líquido descartado por el sistema de control de sólidos, ya que los mismos representan pérdidas de materiales muy costosos, que deberán luego ser remplazados para mantener las buenas propiedades del fluido de perforación. Por lo tanto, dichos parámetros representan la poca eficiencia del sistema de control de sólidos en un momento determinado. A continuación se muestran las ecuaciones deducidas en el **Apéndice I**:

$$\%m_{SÓL.ALTA.GRAV} = \frac{\dot{m}_{SÓL.ALTA.GRAV.DESC}}{\dot{m}_{SÓL.ALTA.GRAV.SALID}} * 100 \dots \text{Ecuación 3.2.12}$$

$$\% m_{ADITIVOS} = \frac{\dot{m}_{ADITIVOS .DESC}}{\dot{m}_{ADITIVOS .SALID}} * 100 \dots\dots\dots \text{Ecuación 3.2.13}$$

$$\% Vol_{SCS} = \frac{Vol_{LIQ .DESC}}{Vol_{LIQ .SALID}} * 100 \dots\dots\dots \text{Ecuación 3.2.14}$$

### 3.2.4 ELABORACIÓN DE UN NUEVO PROGRAMA DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE SÓLIDOS

Una vez finalizado el nuevo método de evaluación del sistema de control de sólidos, se comenzó la elaboración de un programa en Excel para automatizar los cálculos necesarios, y obtener así el valor de Eficiencia y el porcentaje de aditivos, densificante y líquido descargado por el sistema.

Luego de terminar el programa en Excel, se realizó el mismo programa pero en lenguaje Delphi, para así evitar que se pudiesen modificar las ecuaciones usadas en el programa y también para brindarle un ambiente Windows más agradable al usuario.

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La metodología aplicada en el capítulo anterior proporcionó una serie de herramientas, las cuales sirvieron para la comprensión de la problemática presentada por las formas de evaluación de los sistemas de control de sólidos. Adicionalmente, se obtuvieron gran cantidad de resultados, los cuales se analizaron con la finalidad de obtener un mejor método para determinar la eficiencia de los mismos.

### 4.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Una vez revisado todo el material bibliográfico se determinó, que los equipos de control de sólidos se basan en 2 técnicas fundamentales para la separación de los sólidos presentes en el fluido de perforación:

- **Separación Mecánica:** los primeros mecanismos de defensa en el control de sólidos, tales como las zarandas vibratorias, utilizan esta técnica para separar sólidos de acuerdo al tamaño de la partícula, y la misma se ilustra en la Figura N° 4.1.



FIGURA N° 4.1: Zaranda Vibratoria

- **Separación Centrífuga:** los mecanismos de clasificación húmeda, tales como: el desarenador, deslimador y centrífugas, utilizan esta técnica para separar los sólidos rigiéndose por la Ley de Stokes, es decir, por la sedimentación de la partícula debido a su gravedad. En la Figura N° 4.2 se observa el funcionamiento de los hidrociclones.



FIGURA N° 4.2: Equipo de Clasificación Húmeda

La incorporación de nueva tecnología a permitido que en la actualidad se combinen las dos técnicas de separación en un solo equipo, surgiendo de esta forma el 3 en 1, equipo muy utilizado actualmente en las perforaciones modernas. Debido a que éste permite relacionar las dos técnicas de separación, generalmente la disposición de los equipos en la mayoría de los taladros de perforación (Figura N° 4.3), es conformada por una serie de zarandas primarias y un 3 en 1, para procesar todo el fluido proveniente del pozo; varias centrífugas para procesar fluido parcial que requiera tratamiento y finalmente una zaranda secadora para secar los ripios descartados por el sistema.

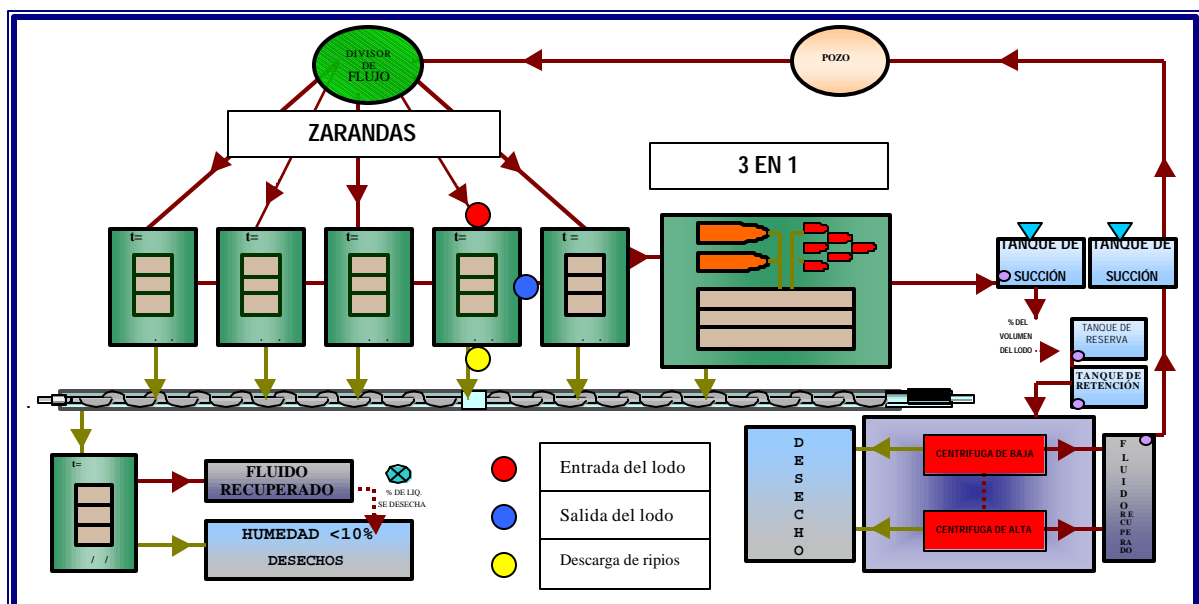


FIGURA N° 4.3: Esquema de Disposición de los Equipos en la Mayoría de los Taladros

Aparte de estas 2 técnicas de separación, existe una tercera (los procesos químicos) utilizada cuando el sistema de control de sólidos no funciona eficientemente, ya que el



mismo no es capaz de separar todos los sólidos indeseables del fluido de perforación; por esta razón se han creado una serie de medios de evaluación de los sistemas de control de sólidos, fundamentados en las normativas API presentada en el marco teórico.

Analizando dichas normativas, se observó que para realizar el cálculo de la eficiencia del sistema de control de sólidos se tomaba en cuenta la geometría del pozo, y era incluido un parámetro de seguridad llamado Washout (W), que pronosticaba los posibles ensanchamientos del hoyo y el mismo dependía de la experiencia del perforador (ver Figura N° 4.4).

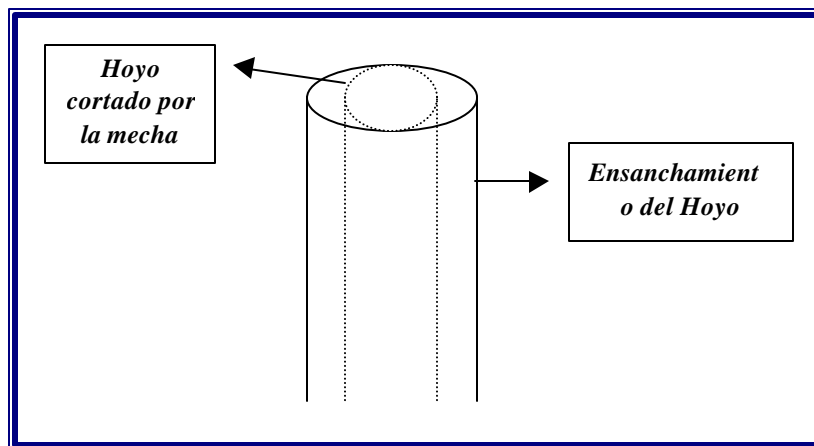


FIGURA N° 4.4: Esquema del Ensanchamiento del Hoyo según la API

Como se observa en la figura anterior, el pronóstico del ensanchamiento del hoyo se supone uniforme a lo largo de todo el intervalo de estudio, tal como se muestra en la siguiente ecuación:

$$Vol_{\text{SÓL.PERF}} = \frac{H * (D_{\text{MECHA}})^2 * (1 + W)}{1029} \dots\dots\dots \text{Ecuación N° 4.1}$$

Debido a la complejidad litológica presente en las formaciones perforadas, se tendrán a lo largo de la sección de estudio, derrumbes mayores en lugares donde la roca sea más débil y derrumbes menos pronunciados, en lugares donde la roca sea más resistente, por lo tanto el aspecto del hoyo perforado será algo muy parecido a la Figura N°4.5, esto indica que la

estimación del API con relación al volumen de los sólidos de perforación cortados por la mecha, carece de confiabilidad.

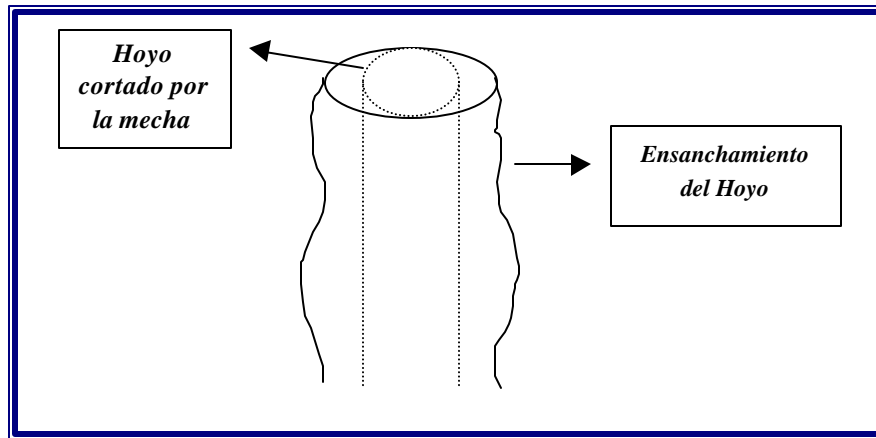


FIGURA N° 4.5: Esquema Real del Ensanchamiento del Hoyo

#### 4.1.1 SÓLIDOS PRESENTES EN LA DESCARGA

Es importante estar claro de los diferentes tipos de sólidos que están presentes en la descarga del sistema de control de sólidos, para así identificar cuales son sólidos deseables e indeseables (sólidos de formación) que el sistema esta desechando. Por esa razón, se explica cuales son los componentes presentes en la muestra.

1. La muestra de sólidos húmedos tomada a la descarga se divide primero en líquido y en sólidos, tal como se ilustra en la Figura 4.6.

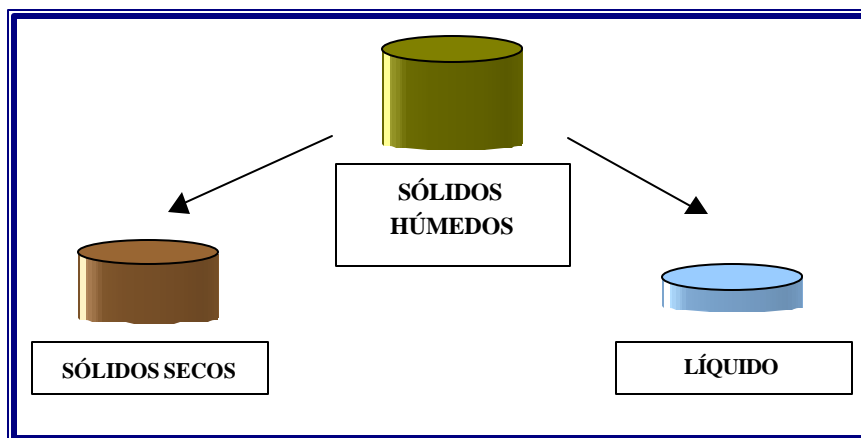


FIGURA N° 4.6: Esquema de División de la muestra de Descarga

2. El líquido presente en la muestra puede estar dividido en algunos casos por dos fluidos (ver Figura N°4.7), tales como el aceite y el agua, cuando el lodo sea una emulsión o en otros casos especiales.

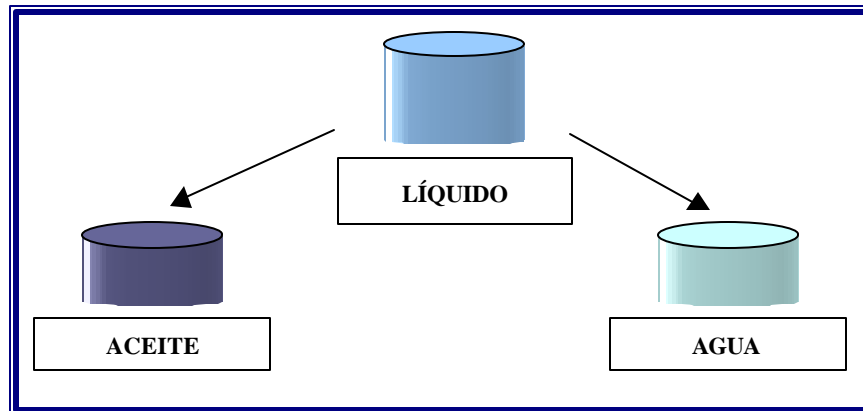


FIGURA N° 4.7: Esquema de División del Líquido

3. Los sólidos presentes en la muestra estará dividido en sólidos de Alta gravedad y sólidos de Baja gravedad (ver Figura N° 4.8).
- **Sólidos de Alta Gravedad:** estos sólidos son los densificantes presentes en el lodo, los cuales pueden ser: Barita o Hematina. Los mismos son aditivos que proporcionan densidad al lodo y por lo tanto, esto trae como consecuencia la permanencia de un sólido en el fluido de perforación.
  - **Sales:** las sales están presentes en el agua, pero al momento de realizar la prueba de la retorta, estas se separan del agua y forman parte de los sólidos secos.
  - **Sólidos de Baja Gravedad:** aquí están presente varios tipos de sólidos, entre los cuales se tendrán aquellos que afectan las propiedades del fluido de perforación, tal es el caso de los sólidos provenientes de la formación; y adicionalmente otros sólidos que se desean que permanezcan en el lodo.

- Carbonato: este sólido es utilizado como un densificante, cuando no se utilizan sólidos de alta gravedad para dar peso al lodo.
- Aditivos: este término se refiere a todos aquellos sólidos de baja gravedad que les dan propiedades al lodo, distintas a la densificación, por ejemplo: viscosidad, pérdida de filtrado, estabilidad eléctrica, etc. Los aditivos pudieran ser: bentonita, sulfonato, polímeros, surfactantes y otros.
- Sólidos de Formación: estos sólidos son los provenientes de la formación y los mismos afectan considerablemente las propiedades del lodo, por lo cual representan los sólidos que deben ser eliminados del fluido de perforación, por los equipos de control de sólidos.

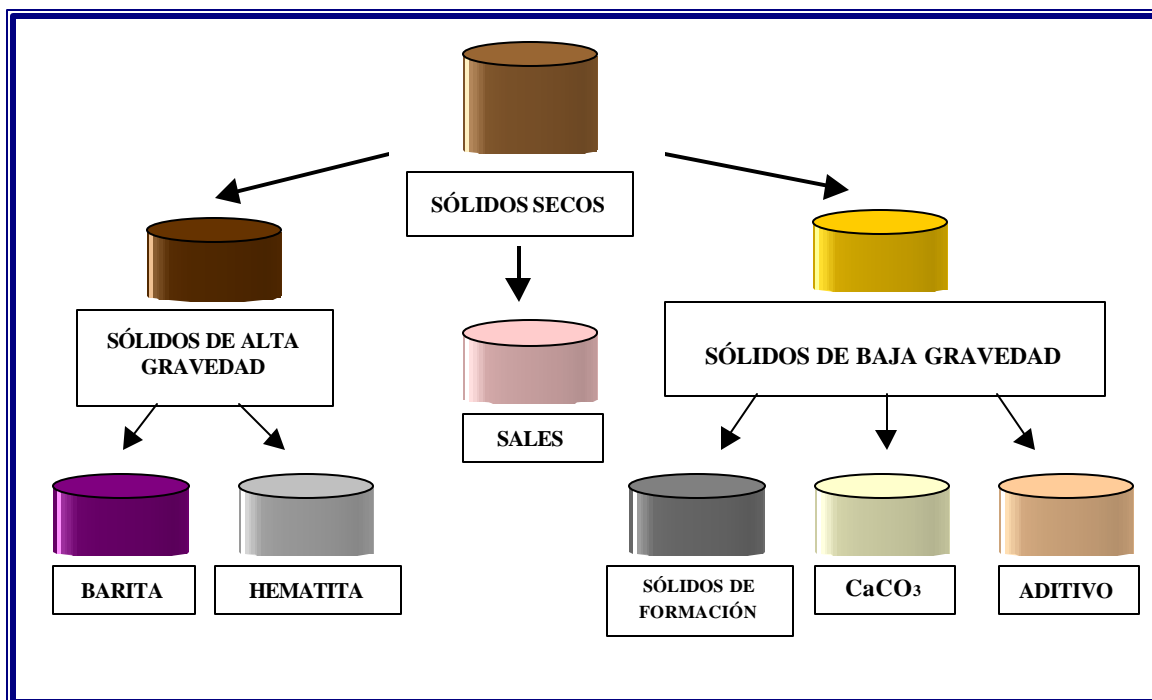


FIGURA N° 4.8: Esquema de División de los Sólidos Secos

## 4.2 ANÁLISIS DE LOS MECANISMOS DE EVALUACIÓN

El análisis de los mecanismos de evaluación del sistema de control de sólidos se siguió por el esquema presentado en la Figura N° 3.2.2 de la sección 3.2, conformado por la revisión de la información, introducción de nuevas ecuaciones en el balance de masa y finalmente la validación de dichas ecuaciones.

### 4.2.1 REVISIÓN DE LA INFORMACIÓN

Una vez finalizada la recolección de la información se procedió a analizar los mecanismos de evaluación y el concepto de eficiencia utilizado por cada uno de los programas recolectados.

#### 4.2.3.1 Programa de porcentaje en volumen

Luego de deducir cada una de las ecuaciones del balance de masa utilizado en este programa (**Apéndice G**), se observó errores conceptuales y operacionales en el mismo, los cuales son presentados a continuación:

- **Operacionales:**

- **Volumen de la Muestra:** en el programa suministrado no se muestra en ningún momento el volumen de toma de muestra. Sin embargo, en los cálculos se utilizó un cuarto (1/4) de galón, como valor de dicho volumen; lo cual implica que si en un momento dado no se cuenta con un envase de  $\frac{1}{4}$  de galón, se podrían presentar dos problemas:

- 1) Que no sea posible utilizar este programa para el cálculo de la eficiencia.

2) Que de ser usado los valores obtenidos con este volumen, se tendrán resultados erróneos.

Debido a estas limitaciones, se verificó la dependencia en los resultados de la eficiencia con respecto al volumen de toma de muestra, y la ecuación en donde es utilizado este volumen se presenta a continuación (**Apéndice G**).

$$\dot{m}_{SÓL.HUM.DESC} [lb/hr] = \frac{Vol_{TOMA.MUESTRA} * r_{SÓL.HUM.DESC} * \left[ 3600 \frac{seg}{hr} \right]}{t_{TOMA MUESTRA}}$$

.....Ecuación N° 4. 2

- **Tiempo de Toma de Muestra:** este parámetro es empleado para el cálculo de los flujos máxicos a la descarga, tal como se mostró en la ecuación 4.2, por lo tanto, un valor erróneo del mismo influirá drásticamente en los resultados de la eficiencia, ya que los sólidos secos descartados son calculados a través de los sólidos húmedos; y el valor de la eficiencia tal como se mostró en la metodología, es función de los sólidos secos.

Luego de observar la influencia tan importante de este parámetro en el cálculo de la eficiencia, se procedió a analizar la metodología utilizada para su determinación, obteniendo como resultado lo siguiente:

- a) Se notó que debido al pequeño tamaño del envase de toma de muestra (1/4 Galón), no era posible abarcar toda el área de descarga del equipo, por eso el flujo máxico no era representativo del caudal de descarga, ya que generalmente la muestra se tomaba al centro del equipo, que es donde se desplaza con mayor velocidad el flujo, tal como se ilustra en la Figura 4.9.

En vista de esta problemática, una posible solución fue colocar a la salida de los equipos un envase del tamaño del área de la descarga, la cual permitió tomar el

tiempo real de toma de muestra, pero dicha solución es poco práctica, en consecuencia no fue posible aplicarla.



FIGURA N° 4.9: Toma de Muestra en el Equipo de Control de Sólidos

• **Conceptuales**

- **Gravedad específica del líquido:** este parámetro es utilizado en el cálculo de los sólidos secos descartados (ver **Apéndice G**), y el mismo en el programa es asumido como la gravedad específica de la fase continua presente en el fluido de perforación; por lo tanto, dicho programa no será utilizado en fluidos emulsificados o en lodos 100% aceites, las cuales presentan porcentajes de agua que suceden por pequeñas arremetidas del pozo.

$$\dot{m}_{SÓL.SECOS.DESC} = \frac{\left( r_{SÓL.HUM.DESC} - \%Vol.LIQ. * 8,33 * GE_{LIQ.} \right) * Vol_{TOMA.MUESTRA}}{t_{TOMA MUESTRA}} * \left[ 3600 \frac{seg}{hr} \right]$$

.....Ecuación N° 4.3

- **Gravedad específica de los sólidos secos descartados:** con este parámetro se observó un error conceptual, ya que existía diferencia entre la ecuación utilizada por el programa (Ecuación 4.4) y la deducida en el **Apéndice G** (Ecuación 4.5).

$$GE_{SÓL.SECOS.DESC} = \frac{r_{SÓL.HUM.DESC} - (\%Vol_{SÓL.SECOS.DESC} * 8,33 * GE_{BASE.})}{\%Vol_{SÓL.SECOS.DESC} * 8,33 * GE_{BASE.}}$$

..... Ecuación N° 4. 4

$$GE_{SÓL.SECOS.DESC} = \frac{r_{SÓL.HUM.DESC} - (\%Vol_{LIQ.} * 8,33 * GE_{LIQ.})}{\%Vol_{SÓL.SECOS.DESC} * 8,33}$$

..... Ecuación N° 4. 5

- **Gravedad específica de los sólidos de alta gravedad:** este parámetro es tomado por el programa como un valor constante igual a 4,3 (GE Barita). Por eso no se toma en cuenta densificantes con valores de gravedad específica diferentes (GE hematita y otras GE barita).
- **Gravedad específica de los sólidos de formación:** este parámetro es considerado por el programa como un valor constante igual a 2,6, ya que generalmente en la mayoría de los casos las formaciones presentan este valor de gravedad específica; pero es importante destacar que en el momento que este valor cambia, este programa no puede ser empleado.
- **Eficiencia del sistema de control de sólidos:** la eficiencia en este programa se define como la relación entre el total de sólidos secos descartados por el sistema de control de sólidos y los sólidos de formación generados por la mecha de perforación, tal como se muestra en la ecuación 4.6 **Apéndice G** .

$$Ef_{EQUIPOS} = \frac{\sum \dot{m}_{SÓLIDOS SECOS DESCARTADOS. i}}{\dot{m}_{SÓLIDOS PERF. GENERADOS}} * 100$$

..... Ecuación N° 4. 6



Analizando esta definición de eficiencia se encontraron varios errores conceptuales, los cuales se describen a continuación:

1. Se comparan parámetros completamente distintos, ya a que como se explicó en la sección 4.1.1 los sólidos secos incluyen diferentes clases de sólidos, entre los cuales se encuentran los sólidos de formación, por lo cual la ecuación de cálculo de eficiencia es válida solo cuando todos los sólidos secos descartados son sólidos de formación.
2. Se comparó un valor medido como es el caso del flujo másico de los sólidos secos descartados con un valor teórico como lo es el flujo másico de sólidos de formación generado por la mecha.
3. Se utilizó la geometría del pozo para realizar el cálculo teórico de los sólidos de formación, y tal como se explicó en la sección 4.1 este parámetro es desconocido.

#### 4.2.3.2 Programa de porcentaje en peso

Luego de deducir cada una de las ecuaciones del balance de masa utilizado en este programa (**Apéndice G**), se observó errores conceptuales y operacionales en el mismo, algunos similares a los encontrados en el programa de porcentaje en volumen, y los cuales son presentados a continuación:

- **Operacionales:**

- **Tiempo de Toma de Muestra:** este parámetro presentó los mismos problemas que se explicaron en el programa de porcentaje en volumen.

• **Conceptuales:**

- **Gravedad específica del líquido:** este parámetro presentó el mismo problema que se explicó en el programa de porcentaje en volumen.
- **Porcentaje de sólidos de alta gravedad:** con este parámetro se observó un error conceptual, ya que existía diferencia entre la ecuación utilizada por el programa (Ecuación 4.7) y la deducida en el **Apéndice G** (Ecuación 4.8).

$$\% m_{SAG .DESCC} = (\% m_{SÓL .SECOS .MUESTRA}) * \frac{GE_{SOL .HUM .DESC} - GE_{SÓL .PERF .DESC}}{GE_{SAG .DESCC} - GE_{SÓL .PERF .DESC}}$$

..... Ecuación N° 4. 7

$$\% m_{SAG .DESCC} = \left( \frac{\left( \frac{1}{GE_{SOL .HUM .DESC}} - \frac{1}{GE_{SÓL .PERF .DESC}} \right)}{\left( \frac{1}{GE_{SAG .DESCC}} - \frac{1}{GE_{SÓL .PERF .DESC}} \right)} \right)$$

..... Ecuación N° 4. 8

- **Gravedad específica de los sólidos de alta gravedad y de formación:** estos parámetros presentaron el mismo problema que se explicó en el programa de porcentaje en volumen.
- **Eficiencia del sistema de control de sólidos:** la eficiencia en este programa se define como la relación entre el total de sólidos de baja gravedad específica descartados por el sistema de control de sólidos y los sólidos de formación generados por la mecha de perforación, tal como se muestra en la ecuación 4.9 (**Apéndice G**).

$$Ef_{EQUIPOS} = \frac{\dot{m}_{SBG .DESC .TOTAL}}{\dot{m}_{SÓLIDOS .PERF .GENERADOS}} * 100$$

..... Ecuación N° 4.9

Analizando esta definición de eficiencia se encontraron varios errores conceptuales, los cuales se describen a continuación:

1. Se compararon parámetros completamente diferentes, previamente explicado en la sección 4.1.1, donde los sólidos de baja gravedad incluyen distintas clases de sólidos, entre los cuales se encuentran los sólidos de formación, por eso la ecuación de cálculo de eficiencia es válida solo cuando todos los sólidos de baja gravedad descartados son sólidos de formación.
2. Se comparó un valor medido como es el caso del flujo másico de los sólidos de baja gravedad descartados con un valor teórico como lo es el flujo másico de sólidos de formación generado por la mecha.
3. Se utilizó la geometría del pozo para realizar el cálculo teórico de los sólidos de formación provenientes del pozo, a través de la ecuación 2.2.6, y tal como se explicó en la sección 4.1, la geometría el pozo es desconocida.

#### **4.2.2 INTRODUCCIÓN DE NUEVAS ECUACIONES EN EL BALANCE DE MASA**

Tal como se describió en la sección 3.2.2.3 de la metodología, se planteó una serie de ecuaciones en el balance de masa que los programas no tomaban en cuenta pero que son de suma importancia para la credibilidad de los resultados de la eficiencia.

##### **4.2.3.1 Programa de porcentaje en volumen**

Luego de realizar un análisis detallado de las ecuaciones presentadas por el programa, se notó tal como se comentó en la sección 4.2.1.1, que existían parámetros que presentaron errores conceptuales o que no eran tomados en cuenta en el programa, por lo tanto se debió incluir nuevas ecuaciones para tomar en consideración dichos parámetros y así reformar los programas, para que pudiesen ser utilizados en diferentes situaciones donde antes no era posible utilizarlos. Dichos parámetros se presentan a continuación:

- **Gravedad específica del líquido:** tal como se comentó anteriormente, las ecuaciones utilizadas para el cálculo del flujo másico y la tasa del líquido, utilizan la gravedad específica de la fase continua del lodo, por lo que cuando se está en presencia de un lodo de perforación de tipo emulsión, no puede ser utilizado este programa. Debido a esta problemática, se planteó una nueva ecuación (**Apéndice H**) que tomó en cuenta la presencia de dos fluidos (agua y aceite).

$$GE_{LIQUIDO} = \frac{\%Vol._{AGUA} * GE_{AGUA} + \%Vol._{ACEITE} * GE_{ACEITE}}{\%Vol._{LIQUIDO}} \dots\dots \text{Ecuación N° 4.10}$$

Con la introducción de esta nueva ecuación se pudo determinar el volumen de agua y aceite que descarga el sistema de control de sólidos, dichas ecuaciones son presentadas en el **Apéndice H**.

- **Flujo másico de densificante:** en los cálculos realizados en este programa no se consideró la cantidad de sólidos de alta gravedad, que es descartado por el sistema de control de sólidos. Lo cual representa una problemática de tipo económico, ya que no se contabiliza la cantidad de densificante que es eliminado del fluido de perforación y que después deberá ser reemplazado, ocasionando por ende un desembolso de dinero extra en las actividades de perforación. Debido a esta problemática se planteó la siguiente ecuación para calcular la cantidad de densificante descartado (**Apéndice H**).

$$\dot{m}_{DENSIF. DESC.} = \%Vol._{DENSIF.} * \dot{m}_{SÓLSECO.SDESC} \dots\dots\dots \text{Ecuación N° 4.11}$$

- **Porcentaje de sales:** en este programa se ignoró la presencia de sales en el agua, por esa razón se planteó la siguiente ecuación para determinar el porcentaje de sales presentes en los sólidos secos.

$$\% Vol_{.SALES} = \% Vol_{.AGUA} * \left( \frac{C_{colruro}}{1.680.000 - 121 * C_{clururo}} \right) \dots \text{Ecuación N° 4.12}$$

- **Porcentaje de Carbonato:** en el programa no se considera la cantidad de carbonato que se descarga del sistema de control de sólidos, ya que actualmente no se posee las herramientas suficientes como para determinar el porcentaje de carbonato presente en una muestra seca. Pero se planteó una ecuación que utiliza este porcentaje para calcular el flujo másico de carbonato descargado por el sistema, ya que es importante saber cuanto densificante se esta descartando, debido a que eso representa perdidas económicas innecesarias (ver ecuación 4.13, **Apéndice I**).

$$\dot{m}_{DENSIF.DESC} = \% Vol_{.CaCO_3} * m_{SÓL.SECOS.SIN.SALES.DESC} \dots\dots \text{Ecuación N° 4.13}$$

- **Porcentaje de Aditivos de baja gravedad:** en el programa no se toma en cuenta la cantidad de aditivos de baja gravedad que se descarga del sistema de control de sólidos, ya que al igual del carbonato, actualmente no se poseen las herramientas para su determinación (ver ecuación 4.14, **Apéndice I**).

$$\dot{m}_{ADIT.BG.DESC} = \% Vol_{.ADIT.BG.} * m_{SÓL.SECOS.SIN.SALES.DESC} \dots \text{Ecuación N° 4.14}$$

- **Sólidos de formación:** en el programa no se tomó en cuenta la cantidad de sólidos de formación que se descarga del sistema de control de sólidos. Por lo tanto, se planteó la siguiente ecuación (ver ecuación 4.15, **Apéndice I**).

$$\dot{m}_{SÓL.PERF.DESC} = \dot{m}_{SÓL.SECOS.SIN.SALES.DESC} - \dot{m}_{ADIT.BG.DESC} - \dot{m}_{DENSIF.DESC}$$

..... Ecuación N° 4.15

#### 4.2.3.2 Programa de porcentaje en peso

Luego de realizar un análisis detallado de las ecuaciones presentadas por el programa, se notó que existían parámetros que presentaron errores conceptuales o que no eran tomados en cuenta, tal como se comentó en la sección anterior. Dichos parámetros son similares a los presentados en esta sección y los mismos se presentan a continuación:

- **Gravedad específica del líquido:** el análisis de la problemática de este parámetro es similar al presentado en el programa de porcentaje en volumen; esto plantea una nueva ecuación (**Apéndice H**) que tomó en cuenta la presencia de dos fluidos (agua y aceite).

$$GE_{LIQUIDO} = \frac{1}{\left( \frac{\%m_{AGUA.RESP.LIQ.}}{GE_{AGUA}} + \frac{\%m_{ACEITE.RESP.LIQ.}}{GE_{ACEITE}} \right)} \quad \dots\dots\text{Ecuación N}^\circ 4.16$$

Con la introducción de esta nueva ecuación se determinó el volumen de agua y aceite que descarga el sistema de control de sólidos (Ver el **Apéndice H**).

- **Porcentaje de Carbonato, Aditivos de baja gravedad y los sólidos de formación:** el programa de porcentaje en peso tampoco consideró estos tres parámetros, en consecuencia se plantearon las mismas ecuaciones presentadas en el programa de porcentaje en volumen.

#### 4.2.3 VALIDACIÓN DE LAS NUEVAS ECUACIONES

Una vez terminado el análisis detallado de las ecuaciones utilizadas en cada programa, se elaboró un programa en Excel con las reformas presentadas anteriormente y se compararon los resultados de dicho programa con los obtenidos por los programas comerciales.

Debido a las limitaciones presentadas actualmente, solo se pudo determinar los flujos másicos de los sólidos de baja gravedad, ya que las metodologías empleadas actualmente no son capaces de diferenciar los porcentajes de carbonato y aditivos. En el **Apéndice J** se presenta el manual de uso del programa reformado.

Para los análisis que se presentan a continuación, se utilizaron datos de campo de las mayorías de las secciones perforadas (17 ½ Pulgadas, 12 ¼ Pulgadas y 6 ½ Pulgadas) de un taladro de la zona oriental del país (Ver Figura N° 4.10), para el programa de porcentaje en volumen, el cual es el más utilizado en la industria petrolera.

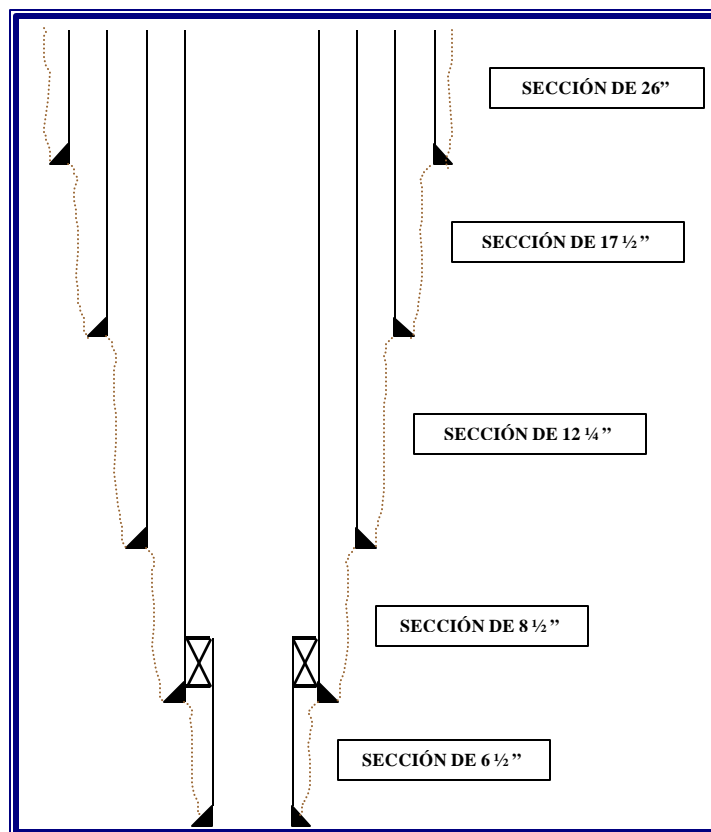


FIGURA N° 4.10: Esquema de las Secciones del Pozo en Estudio

#### 4.2.3.1 Sección de 17 ½ pulgadas del hoyo

De la sección de 17 ½ pulgadas se suministró dos formatos de los programas comerciales de eficiencia. Seguidamente se analizó detalladamente los datos utilizados en dicho formato.

##### **4.2.3.1.1 Fecha: 15/09/01**

En el **Apéndice K** se presenta el formato inicialmente entregado por la empresa de servicio (Figura N° K-1) y el mismo presentó inconsistencia en los datos, los cuales se presentan a continuación:

- **Densidad de salida del lodo del 3 en 1:** en el programa se indican las densidades de entrada y salida del lodo de las zarandas y del 3 en 1. El primer valor de densidad a la entrada debe ser siempre mayor que el de salida, ya que inicialmente el lodo contiene sólidos de formación que luego son eliminados por el equipo. Por esa razón se tuvieron que corregir los valores de densidad de entrada y salida del 3 en 1, ya que como se puede observar en el **Apéndice K**, el valor de entrada (13 lpg) era menor que el de salida (16 lpg).
- **Porcentaje en Volumen de los sólidos a la descarga:** en el programa se indican los porcentajes en volumen de los sólidos a la descarga de las zarandas y el 3 en 1. El porcentaje de sólidos a la descarga debe ser mayor que el porcentaje de líquido, ya que el equipo está diseñado para descargar la mayor cantidad de sólidos posibles. Por tal razón y debido a que en la primera zaranda el porcentaje de sólidos era 60%, se tuvieron que corregir estos valores en las demás zarandas, (ver **Apéndice K**), estos valores eran menores que los de porcentaje de líquido (40%).
- **Densidad de descarga de los ripios del 3 en 1:** en el programa se indican las densidades de descarga de las zarandas y del 3 en 1. El valor de densidad de descarga no puede ser menor que la densidad de entrada al equipo, ya que el mismo está diseñado para remover



sólidos, los cuales tienen densidades muy altas (21 lpg). Por esta razón el valor de densidad de descarga estaba conceptuado inadecuadamente y no existía alguna manera de corregir dicho error (**Apéndice K**).

Dados los problemas presentados por el 3 en 1, se realizaron sólo los análisis de los resultados obtenidos por las zarandas, solo para este caso en particular (Sección de 17 ½ pulgadas “15/09/01”).

Una vez corregida las inconsistencias, se procedió a analizar y comparar los resultados obtenidos por el programa reformado y el comercial mostrado en el **Apéndice L**.

- Los resultados obtenidos por las zarandas fueron iguales para los dos programas (Figura N° L-1 del **Apéndice L**), ya que el programa reformado reflejó que todos los sólidos secos descargados fueron de baja gravedad, ya a que la densidad a la descarga del equipo era muy cercana a la densidad de entrada, esto pudo significar dos cosas:
  1. Que no se perdió densificante al pasar el lodo por el equipo.
  2. Que la densidad de descarga esta mal medida, debido a que si se están descargando 60% de sólidos, con densidades de aproximadamente 21 lpg, es posible que 14,1 lpg sea un valor muy bajo para la descarga.
- La única variante del programa reformado, es que se muestra el volumen de líquido de descarga por cada equipo y para este caso en particular se observó que el sistema descargó en total 1,16 Bbls/hr, esto implica que por cada hora de funcionamiento del sistema de control de sólidos, se debió reponer la misma cantidad de líquido para mantener las propiedades del lodo, significando esto un desembolso de dinero extra para las actividades de perforación.

**4.2.3.1.2 Fecha: 18/09/01**

En el **Apéndice K** se presenta el formato inicialmente entregado por la empresa de servicio (Figura N° K-2) y el mismo presentó inconsistencia en los datos, los cuales se presentan a continuación:

- **Densidad de salida del lodo de las zarandas:** El primer valor de densidad a la entrada debe ser siempre mayor que el de salida, por lo explicado anteriormente. Por esa razón se tuvieron que corregir los valores de densidad de entrada y salida de las zarandas, ya que como se observó en el **Apéndice K**, el valor de entrada (13,4 lpg) era menor que el de salida (13,5 lpg).

Una vez corregida las inconsistencias, se procedió a analizar y comparar los resultados obtenidos por el programa reformado y el comercial mostrado en el **Apéndice L**.

- Se determinó por lo descrito en esta sección para la fecha 15/09/01, que la densidad de descarga estaba mal medida, debido a que si se están descargando 80% de sólidos (21 lpg), los valores de 13,9 lpg y 14,5 lpg son valores muy bajo para la descarga.
- El programa reformado mostró el volumen de líquido de descarga por cada equipo y para este caso en particular se observó que el sistema descargó en total 0,94 Bbls/hr.

En esta sección 17 ½ pulgadas se reflejó la importancia de reportar el valor de líquido que el sistema de control de sólidos descarga al tratar el fluido, ya que la pérdida del mismo representa una pérdida de dinero, el cual refleja la poca eficiencia del equipo.

#### 4.2.3.2 Sección de 12 ¼ pulgadas del hoyo

De la sección de 12 ¼ pulgadas se suministró dos formatos de los programas comerciales de eficiencia. Se procedió luego, a analizar detalladamente los datos utilizados en dicho formato.

##### **4.2.3.2.1 Fecha: 01/10/01**

En el **Apéndice K** se presenta el formato inicialmente entregado por la empresa de servicio (Figura N° K-3) y al igual que la fecha anterior, el mismo presentó inconsistencia en los datos, los cuales se presentan a continuación:

- **Tasa de penetración:** este valor es reportado en el programa y para esta sección de 12 ¼ pulgadas fue de 78 Pies/hr, esto hace dudar de la confiabilidad de dicho valor, debido a que la tasa de penetración promedio del intervalo fue de 20 Pies/hr y adicionalmente el segundo formato de esta sección reportó una ROP de 8,05 Pies/hr. El cálculo de flujo másico de descarga de los equipos no se ve afectado por este valor.

Una vez indicadas las inconsistencias, se procedió a analizar y comparar los resultados obtenidos por el programa reformado y el comercial mostrado en el **Apéndice L**.

- Los resultados obtenidos por los equipos fueron diferentes para los dos programas (Figura N° L-9 del **Apéndice L**), ya que el programa reformado reflejó que entre los sólidos secos descargados se encontraron sólidos de alta gravedad, y en este caso en particular se descargó 2318 lb/hr, eso implica que por cada hora de funcionamiento del sistema de control de sólidos, se debió reponer la misma cantidad de densificante para mantener las propiedades del lodo, lo cual significa un incremento de los costos en las actividades de perforación.
- El programa reformado mostró el volumen de líquido de descarga por cada equipo y para este caso en particular se observó que el sistema descargó en total 3,04 Bbls/hr.

**4.2.3.2 Fecha: 19/10/01**

En el **Apéndice K** se presenta el formato inicialmente entregado por la empresa de servicio (Figura N° K-4) y el mismo no presentó inconsistencia en los datos. Entonces, se analizaron y compararon los resultados obtenidos por el programa reformado y el comercial mostrado en el **Apéndice L**.

- Los resultados obtenidos por los equipos fueron diferentes para los dos programas (Figura N° L-13 del **Apéndice L**), ya que el programa reformado reflejó que entre los sólidos secos descargados se encontraron sólidos de alta gravedad, y en este caso en particular se descargó 369 lb/hr.
- El programa reformado mostró el volumen de líquido de descarga por cada equipo y para este caso en particular se observó que el sistema descargó en total 0,51 Bbls/hr.

En esta sección de 12 ¼ pulgadas se reflejó la importancia de reportar el valor del densificante y del líquido que el sistema de control de sólidos descarga al tratar el fluido, ya que la pérdida de los mismos representan un incremento de los gastos, el cual refleja la poca eficiencia del equipo.

**4.2.3.3 Sección de 6 ½ pulgadas del hoyo**

De la sección de 6 ½ pulgadas se suministró dos formatos de los programas comerciales de eficiencia. Se procedió luego, a analizar detalladamente los datos utilizados en dicho formato.

**4.2.3.3.1 Fecha: 16/01/02**

En el **Apéndice K** se presenta el formato inicialmente entregado por la empresa de servicio (Figura N° K-5) y el mismo presentó discrepancias en los datos, los cuales se presentan a continuación:

- **Densidad de salida del lodo de las zarandas y 3 en 1:** en el programa se indican las densidades de entrada y salida del lodo de las zarandas y del 3 en 1. Aquí se presentó el mismo problema explicado en la sección de 17 1/2 pulgadas del 18/09/01, esto se observa en el **Apéndice K**, el valor de entrada (9,04 lpg) era menor que el de salida (9,82 lpg).

Una vez corregida las inconsistencias, se procedió a analizar y comparar los resultados obtenidos por el programa reformado y el comercial mostrado en el **Apéndice L**.

- Los resultados obtenidos por los equipos fueron iguales para los dos programas (Figura N° L-17 del **Apéndice L**), ya que el programa reformado reflejo que todos los sólidos secos descargados fueron de baja gravedad.
- El programa reformado mostró el volumen de líquido de descarga por cada equipo y para este caso en particular se observó que el sistema descargó en total 0,1 Bbls/hr.

**4.2.3.3.2 Fecha: 19/01/02**

En el **Apéndice K** se presenta el formato inicialmente entregado por la empresa de servicio (Figura N° K-6), el cual no presentó inconsistencia en los datos. Por lo tanto, se procedió a analizar y comparar los resultados obtenidos por el programa reformado y el comercial mostrado en el **Apéndice L**.

- Los resultados obtenidos por los equipos fueron iguales para los dos programas (Figura N° L-21 del **Apéndice L**), ya que el programa reformado reflejó que todos los sólidos secos descargados fueron de baja gravedad.
- El programa reformado mostró el volumen de líquido de descarga por cada equipo y para este caso en particular se observó que el sistema descargó en total 0,09 Bbls/hr.

En esta sección 12 ¼ pulgadas al igual que en la de 17 ½ pulgadas se reflejó la importancia de reportar el valor de líquido que el sistema de control de sólidos descarga al tratar el fluido, lo cual anteriormente se mencionó, que ocasiona la elevación de los costos en las actividades de perforación, esto refleja la poca eficiencia del equipo.

### **4.3 NUEVO CONCEPTO DE EFICIENCIA Y MEJORAS EN LOS MEDIOS DE EVALUACIÓN.**

En vista de las limitaciones y errores presentados por los medios de evaluación (programas), se decidió diseñar un nuevo concepto de eficiencia, basado en una nueva definición de los objetivos funcionales de los equipos de control de sólidos.

Actualmente el objetivo funcional de los equipos de control de sólidos, es extraer todos los sólidos presentes en el fluido de perforación, sin importar que tipo de sólido este presente en el mismo.

El concepto de eficiencia del sistema de control de sólidos se fundamentó, en la cantidad de sólidos descargado por el sistema, sin tomar en consideración que cantidad de ellos pertenece a los sólidos provenientes de la formación. De la sección 4.1.1 se sabe que existen diferentes tipos de sólidos presentes en el fluido. También se sabe que los sólidos de formación pertenecen a los sólidos de baja gravedad y ellos afectan notablemente las propiedades del lodo. Por lo cual, dicho concepto de eficiencia no refleja el verdadero

objetivo funcional del equipo, ya que se quiere eliminar los sólidos de formación presentes en el fluido de perforación.

#### 4.3.1 NUEVA DEFINICIÓN DEL OBJETIVO FUNCIONAL DEL EQUIPO

Se define como objetivo funcional del equipo, la extracción de los sólidos provenientes de la formación presentes en el fluido de perforación, sin descartar aditivos, densificantes y líquidos presentes en el lodo.

Una vez definido el objetivo funcional del equipo, se procedió a diseñar el nuevo concepto de la eficiencia del sistema de control de sólidos.

#### 4.3.2 NUEVO CONCEPTO DE EFICIENCIA DEL SISTEMA DE CONTROL DE SÓLIDOS

Se define entonces como la relación que existe entre los sólidos de formación descargados por el sistema con respecto a los sólidos de formación a la salida del pozo, tomando en cuenta la cantidad de aditivos, densificante y líquidos que son descargados. En la Figura N° 4.11, se ilustra como es un sistema de control de sólidos que trabaje 100 % eficiente.

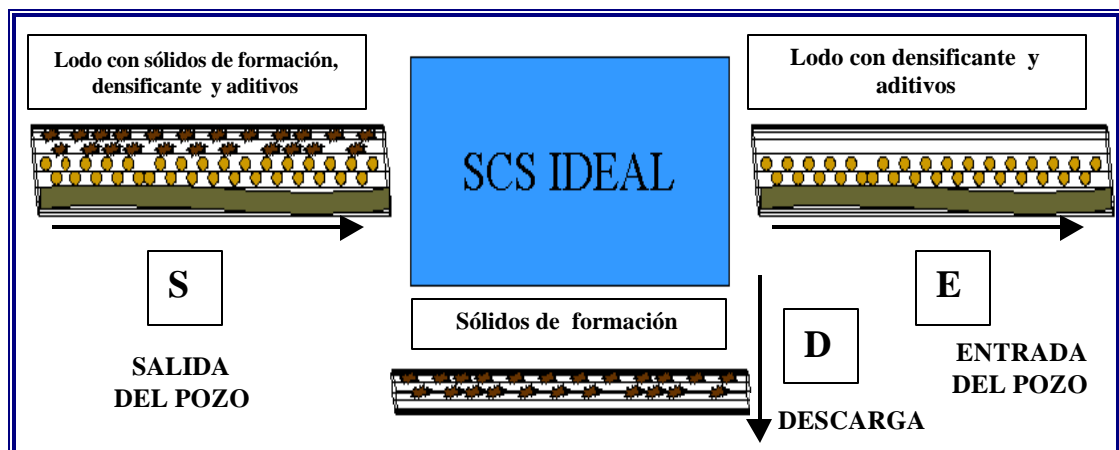


FIGURA N° 4.11: Esquema del Sistema Ideal de Control de Sólidos

La Figura N° 4.11 muestra un fluido de perforación con densificante, aditivos y sólidos de formación a la salida del pozo, y al entrar este al sistema de control de sólidos se divide en dos flujos: la descarga donde se obtienen sólidos de formación y la entrada del pozo donde se obtiene el fluido de perforación con densificante y aditivos. Este esquema refleja el nuevo objetivo funcional del sistema de control de sólidos para conseguir el 100% de eficiencia.

### **4.3.3 CÁLCULO DE EFICIENCIA APLICANDO EL NUEVO CONCEPTO AL PROGRAMA REFORMADO DE LA SECCIÓN 4.2.3**

En la validación realizada en la sección 4.2.3 se obtuvieron valores de eficiencia de los programas comerciales, sin embargo no fueron presentadas por no calcularse las eficiencias de los programas reformados, ya que el concepto de eficiencia presentaba errores conceptuales.

Ahora que se introduce un nuevo concepto se pudo calcular la eficiencia de los programas reformados, gracias a que se facilitaron valores de retorta a la salida del pozo, lo cual para calcular la nueva eficiencia se necesitaría realizar todos los cálculos de flujo másico a la salida del pozo. El inconveniente que se presentó fue no tener el tiempo de toma de muestra a la salida del pozo, esto era de suma importancia para los resultados de eficiencia. De todas maneras se realizaron los cálculos de eficiencia para el programa reformado y se obtuvieron los siguientes resultados.

#### **4.3.3.1 Eficiencia del programa reformado**

Para realizar el cálculo de eficiencia en este programa, se necesitaron los mismos datos necesarios para realizar los cálculos de flujo másico a la descarga, pero ahora referidos a la salida del pozo. El único dato que faltó fue el tiempo de toma de muestra a la salida, pero se procedió a calcular la eficiencia con varios tiempos de toma de muestra para ver los resultados que se obtenían.



Para el presente análisis se utilizó la sección de 17 1/2 " del 15/09/01; en el **Apéndice M** se muestran los datos de salida del pozo y los resultados de eficiencia para los diferentes tiempos de toma de muestra.

1. Para un tiempo igual a 1 segundo, se obtuvo como resultado una eficiencia de 83,4% con 6,8% de líquido descargado, tal como se muestra en la Figura N° M-2 del **Apéndice M**.
2. Para un tiempo igual a 0,8 segundos, se obtuvo una eficiencia de 66,72% con 5,4% de líquido descargado, tal como se muestra en la Figura N° M-4 del **Apéndice M**.

En estos 2 ejemplos presentados, se nota la gran sensibilidad de los resultados de eficiencia con respecto al tiempo de toma de muestra a la salida del pozo. Por tal razón se decidió, **no utilizar el programa reformado de la empresa de servicio**, ya que los resultados de la eficiencia están sujetos a valores del tiempo de toma de muestra que pueden variar dependiendo del instrumento utilizado en su determinación.

Luego de decidir que no se utilizará el programa reformado de la empresa de servicio, se presentó el gran problema de no contar ahora con un método confiable, que pudiese calcular la eficiencia del sistema de control de sólidos. Por eso se decidió diseñar un nuevo método para el cálculo de la eficiencia, el cual es presentado a continuación.

#### **4.3.4 NUEVO MÉTODO PARA CALCULAR LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE CONTROL DE SÓLIDOS**

Para comenzar a elaborar este nuevo método se tuvo que analizar como eliminar el factor tiempo de toma de muestra, ya que el mismo representaba una problemática a solucionar. Estudiando el formato utilizado por los programas de las empresas de servicios, se notó que siempre reportaban los galones por minutos a la salida del pozo, pero este valor nunca era utilizado. En los galones a la salida del pozo está implícito el tiempo, entonces se decidió

realizar los cálculos para obtener la eficiencia con este valor y así tener todos los flujos másicos ligados con el tiempo a través de los galones por minutos de salida del pozo.

Una vez solucionado el problema del tiempo de toma de muestra, se procedió a determinar la cantidad del volumen de salida del pozo que se desviaba a la descarga y a la entrada del pozo, tal como se ilustra en la Figura N° 4.12.

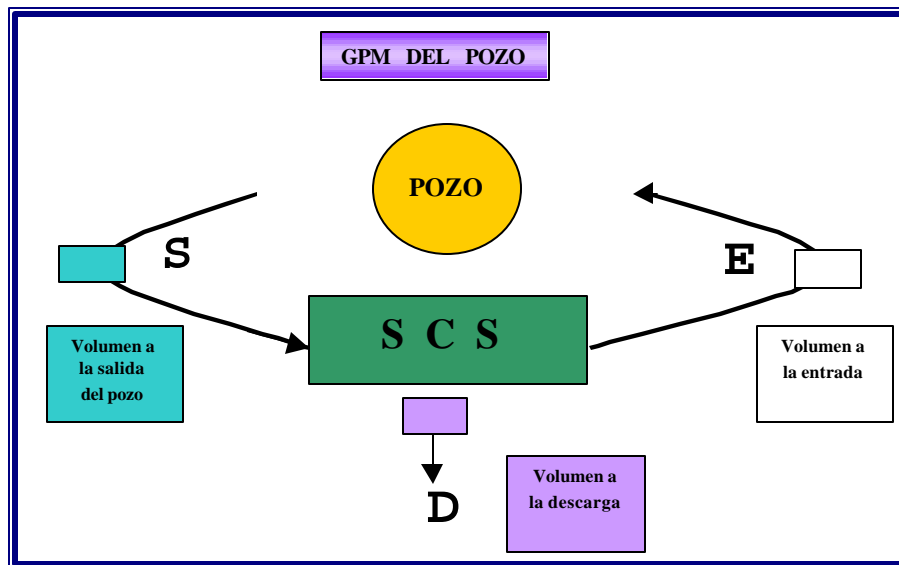


FIGURA N° 4.12: Esquema de la Distribución del Flujo de Salida del Pozo

Para poder determinar la distribución del flujo se realizó un estudio global del sistema de control de sólidos, a través de un balance del flujo másico utilizando las densidades de salida, entrada y descarga; y aplicando la siguiente ecuación deducida en el **Apéndice I**.

$$\% m_{DESCAR . POZO} = \frac{\left( \frac{1}{r_{SALID . POZO}} - \frac{1}{r_{ENTRAD . POZO}} \right)}{\left( \frac{1}{r_{DESCAR . POZO}} - \frac{1}{r_{ENTRAD . POZO}} \right)} \dots \text{Ecuación N° 4.17}$$

Con la Ecuación 4.17 se determina que porcentaje del flujo de salida se desviaba a la descarga y luego se puede calcular el flujo a la entrada del pozo. Es de importancia destacar que la suma del flujo de descarga y de entrada debe ser igual al flujo de salida del pozo.

Una vez conocido los flujos a la salida, descarga y entrada del pozo, se procedió a analizar las características de cada flujos, es decir determinar los sólidos y líquidos presentes tanto en la salida, descarga y entrada del pozo. Esto con la finalidad de poder aplicar el nuevo concepto de eficiencia del sistema de control de sólidos, que relaciona los sólidos de formación a la salida del pozo con los presentes en la descarga.

- **Salida del Pozo:**

El primer estudio detallado se realizó a la salida, para así determinar que cantidad de sólidos de formación provienen del pozo.

A través de un balance másico utilizando los datos de la retorta se puede determinar la cantidad de líquido y sólidos presentes en el flujo de salida, tal como se mostró en la Figura N° 4.6; y las ecuaciones utilizadas para tal fin se muestran en el **Apéndice I**.

Luego se realiza un análisis del líquido a la salida y en caso de ser un lodo tipo emulsión se determina la cantidad de aceite y agua presentes en el flujo de salida, tal como se muestra en la Figura N° 4.7; y las ecuaciones se presentan en el **Apéndice I**.

Se analizaron los sólidos presentes a la salida, utilizando una serie de ecuaciones presentadas en el **Apéndice I**, con la finalidad de realizar una distinción de los sólidos igual a la mostrada en la Figura N° 4.8; para de esta forma conocer la cantidad de sólidos de formación a la salida del pozo. Actualmente no es posible determinar la cantidad de carbonato y aditivos presentes en una muestra, por lo tanto se determina los sólidos de baja gravedad a la salida.

- **Descarga del sistema de control de sólidos:**

El segundo paso es realizar el mismo estudio detallado a la descarga del sistema de control de sólidos, para así determinar los sólidos de formación descargados por el sistema. El procedimiento es igual al explicado anteriormente para la salida del pozo y es importante destacar que de igual forma, solo se puede determinar los sólidos de baja gravedad a la descarga. Las ecuaciones se presentan en el **Apéndice I**.

- **Entrada del lodo al Pozo:**

Por último se procedió a reconstruir paso a paso todos los parámetros del flujo a la entrada del pozo.

Para que se cumpla la conservación de masa, se debió realizar un estudio cuando el sistema está en equilibrio, es decir, cuando no se este aplicando tratamiento al fluido de perforación. Las ecuaciones utilizadas para le cálculo de cada parámetro se presenta en el **Apéndice I**.

Finalmente, una vez determinado todos los parámetros a la salida del pozo y a la descarga del sistema de control de sólidos, se cálculo la eficiencia a través de la siguiente ecuación:

$$E_{f_{SCS}} = \frac{\dot{m}_{SÓL.PERF.DESC}}{\dot{m}_{SÓL.PERF.SALD}} * 100 \dots\dots\dots \text{Ecuación N° 4.18}$$

Adicionalmente, se reportó el porcentaje de sólidos de alta gravedad, aditivos y el volumen de líquido descartado por el sistema de control de sólidos, ya que los mismos representan la poca eficiencia del sistema de control de sólidos en un momento determinado. A continuación se presenta las ecuaciones utilizadas en el cálculo de dichos parámetros:

$$\% m_{SÓL . ALTA . GRAV} = \frac{\dot{m}_{SÓL . ALTA . GRAV . DESC}}{\dot{m}_{SÓL . ALTA . GRAV . SALID}} * 100 \dots\dots\dots \text{Ecuación N° 4. 19}$$

$$\% m_{ADITIVOS} = \frac{\dot{m}_{ADITIVOS . DESC}}{\dot{m}_{ADITIVOS . SALID}} * 100 \dots\dots\dots \text{Ecuación N° 4. 20}$$

$$\% Vol ._{SCV} = \frac{Vol ._{LIQ . DESC}}{Vol ._{LIQ . SALID}} * 100 \dots\dots\dots \text{Ecuación N° 4. 21}$$

### 4.4 ELABORACIÓN DE UN NUEVO PROGRAMA DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE SÓLIDOS

Una vez finalizado el nuevo método de evaluación del sistema de control de sólidos, se comenzó la elaboración de un programa en Excel para automatizar los cálculos de cada uno de los parámetros explicados en la sección anterior.

La Figura presentada a continuación muestra los datos necesarios para realizar el cálculo de la eficiencia:

<b>HORA DE TOMA DE MUESTRA</b>		02:30 p.m.					
TALADRO=	XXXX	PROFUNDIDAD=	7900				
POZO=	XXXX	GPM=	520				
FECHA=	12/03/2001	DENS. DEL LODO=	9,8				
TIPO DE LODO=	EMULSIÓN	GE. Agua=	1				
DENSIFICANTE=	carbonato	GE. Aceite=	0,821128				
ROP=	7,6	GE. Sol. Perf.=	2,65				
D mecha=	12 1/4	GE. Densf.=	2,7				
<b>PAR CADA MUESTRA</b>		<b>V salida del pozo</b>	<b>V retardo al gas y descarga</b>				
		520 Gal	520 Gal				
		RESPECTO A SOL. SECOS SIN SALES	RESPECTO A SOL. SECOS SIN SALES				
DESCRIPCIÓN	Densidad , lpg	% Vol. Agua , fracción	% Vol. Aceite , fracción	% Vol. solidos	% Vol. CaCO <sub>3</sub> [normalizar]	% Vol. Aditivos BG .....	Controlación , .....
Salida	10,10	0,50	0,20	0,30	0,50	0,20	5000,00
Descarga	14,20	0,20	0,10	0,70	0,30	0,10	0,00
Entrada	3,30	0,51	0,20	0,28	0,53	0,21	
RESPUESTA	RESPUESTA	RESPUESTA	RESPUESTA	RESPUESTA	RESPUESTA		
DATO BIEN	DATO BIEN	DATO BIEN	DATO BIEN	DATO BIEN	DATO BIEN		
DATO BIEN	DATO BIEN		DATO BIEN	DATO BIEN	DATO BIEN		
DATO BIEN	DATO BIEN		DATO BIEN	DATO BIEN	DATO BIEN		
	DATO BIEN		DATO BIEN	DATO BIEN	DATO BIEN		

FIGURA N° 4.13: Datos de Alimentación del Nuevo Programa (Excel)

En el **Apéndice N** se presenta un manual de uso del programa en Excel, donde se explican más detalladamente los datos utilizados en el programa.

La distribución del flujo de salida en la descarga y la entrada se ilustra en la Figura N° 4.14.

CALCULOS			
fracción	fracción	lb	lb
% <i>peso de descarga</i>	% <i>peso de entrada</i>	<i>mtotal de salida</i>	<i>m descarga total</i>
0,07	0,93	5252,00	343,44
lb	lb	gal	gal
<i>m descarga total</i>	<i>m entrada total</i>	<i>V descarga</i>	<i>V entrada</i>
343,44	4908,56	24,19	495,81

FIGURA N° 4.14: Cálculo de la Distribución del Flujo de Salida del Pozo (Excel)

Los resultados de los flujos máxicos a la salida, descarga y entrada del pozo se presentan en las siguientes Figuras 4.15, 4.16 y 4.17:

SALIDA				
0,30	0,002325581			
GE Líquido	GE. Prom. Sol sin sales.	GE. Prom. Sol.	m sol. Secos lb	m sales lb
0,948894	1,84	1,83	2374,84	5,52
0,5				
m sol. Secos sin sales lb	m densf sales Lb	m sol. Perf + sol de BG Aditivos Lb	m sol. Perf lb	m sol. BG Aditivos lb
2369,32	1184,66	1184,66	710,80	473,86
2369,32				
m Líquido lb	Vol. Líquido Gal	Vol. Aceite Gal	Vol. Agua Gal	% m sol. Perf
2877,16	364,00	104,00	260,00	13,53
				%
% m sol. BG aditivos	% m Densf	% Vol. Líquido	% Vol. Aceite	% Vol. Agua
9,02	22,56	70,00	20,00	50,00
%	%	%	%	%

FIGURA N° 4.15: Resultados del Flujo Máxico a la Salida del Pozo (Excel)

DESCARGA				
GE Líquido	GE. Prom. Sol sin Sales	GE. Prom. Sol.	m sol. Secos lb	1,00
0,940376	2,03	2,03	286,60	
m sales lb	m sol. Secos sin sales lb	m Densf lb	m sol. BG Aditivos + Sol Perf lb	m sol. perf lb
0,00	286,60	85,98	200,62	171,96
	286,60			
m Líquido lb	Vol. Líquido Gal	Vol. Aceite Gal	Vol. Agua Gal	% m sol perf
56,84	7,26	2,42	4,84	50,07
				%
% m sol. BG aditivo	% m Densf	% Vol. Líquido	% Vol. Aceite	% Vol. Agua
8,35	25,04	30,00	10,00	20,00
%	%	%	%	%

FIGURA N° 4.16: Resultados del Flujo Máxico a la Descarga (Excel)

ENTRADA				
GE Líquido	GE. Prom. Sol sin sales.	% Vol. aceite , fracción	% Vol. Agua, fracción	% Vol. Líquido , fracción
0,949067	2,68	0,20	0,51	0,72
m sol. Secos sin saleslb	m DensfEntrada Lb	m sol. BG Aditivos + Sol. Perf Lb	m sol. Perf lb	m sol. BG Aditivos lb
2082,71	1098,68	984,04	538,83	445,20
m Líquido lb	Vol. Líquido Gal	Vol. Aceite Gal	Vol. Agua Gal	% m sol. Perf
2820,32	356,74	101,58	255,16	10,98
	356,74	101,58	255,16	%
% m sol. BG aditivo	% m Densf	% Vol. Líquido	% Vol. Aceite	% Vol. Agua
9,07	22,38	71,95	20,49	51,46
%	%	%	%	%

FIGURA N° 4.17: Resultados del Flujo Másico a la Entrada del Pozo (Excel)

Finalmente la Figura N° 4.18 muestra el valor de eficiencia del sistema de control de sólidos y los porcentajes de aditivos, densificante y líquido descargado por el sistema.

<b>EFICIENCIA DEL SCS</b>	24,19301419	%
<b>% m Aditivos descartado por el SCS</b>	6,048253547	%
<b>% m Densificante descartado por el SCS</b>	7,257904257	%
<b>% Vol. Líquido descartado por el SCS</b>	1,993355482	%

FIGURA N° 4.18: Valores de Eficiencia y Porcentajes a la Descarga (Excel)

Se observó la presencia de varios errores en los programas de las empresas de servicios, debido a que eran modificadas sus ecuaciones, se procedió a elaborar el mismo programa presentado en Excel, pero en lenguaje Delphi; con el propósito de evitar la posibilidad de que se modificaran las ecuaciones utilizadas en el cálculo de la eficiencia y también para ofrecerle un ambiente Windows más agradable al usuario.

La Figura N° 4.19 y 4.20 muestra los datos necesarios para realizar el cálculo de la eficiencia:

The screenshot shows a software window titled "EFICIENCIA DEL SCS". At the top, there is a "MÉTODO:" dropdown menu set to "Cálculo Global SCS" and a "Calcular" button with a green checkmark. Below this, there are two tabs: "Datos generales" (selected) and "Datos de retorta del pozo". The "Datos generales" tab contains several input fields:

- TALADRO: [XXXXXXXXXX]
- POZO: [XXXXXXXXXX]
- FECHA: [12/09/01]
- TIPO DE LODD: [EMULSIÓN]
- DENSIFICANTE: [CARBONATO]
- ROP: [7,6] ft/hr
- D. mecha: [12,25] in
- PROFUNDIDAD: [7900] ft
- GPM: [520] gpm
- G.E. agua: [1]
- G.E. aceite: [0,821128]
- G.E. sólidos: [2,65]
- G.E. CARBONATO: [2,7]

FIGURA N° 4.19: Datos de Alimentación 1 del Nuevo Programa (Delphi)

The screenshot shows the same software window "EFICIENCIA DEL SCS". The "MÉTODO:" dropdown is still "Cálculo Global SCS" and the "Calcular" button is present. The "Datos de retorta del pozo" tab is now selected. It displays a table with the following data:

	Densidad (lpg)	Fracción Vol.Agua	Fracción Vol.Aceite	Fracc
<b>S</b> Salida del pozo	10,1	0,5	0,2	0,3
<b>D</b> Descarga	14,2	0,2	0,1	0,7
<b>E</b> Entrada del pozo	9,9			

FIGURA N° 4.20: Datos de Alimentación 2 del Nuevo Programa (Delphi)



En el **Apéndice O** se presentará un manual de uso detallado del programa en Delphi, donde se explican al detalle los datos utilizados en el programa.

La Figura N° 4.21 muestra el valor de eficiencia del sistema de control de sólidos y los porcentajes de aditivos, densificante y líquido descargado por el sistema.

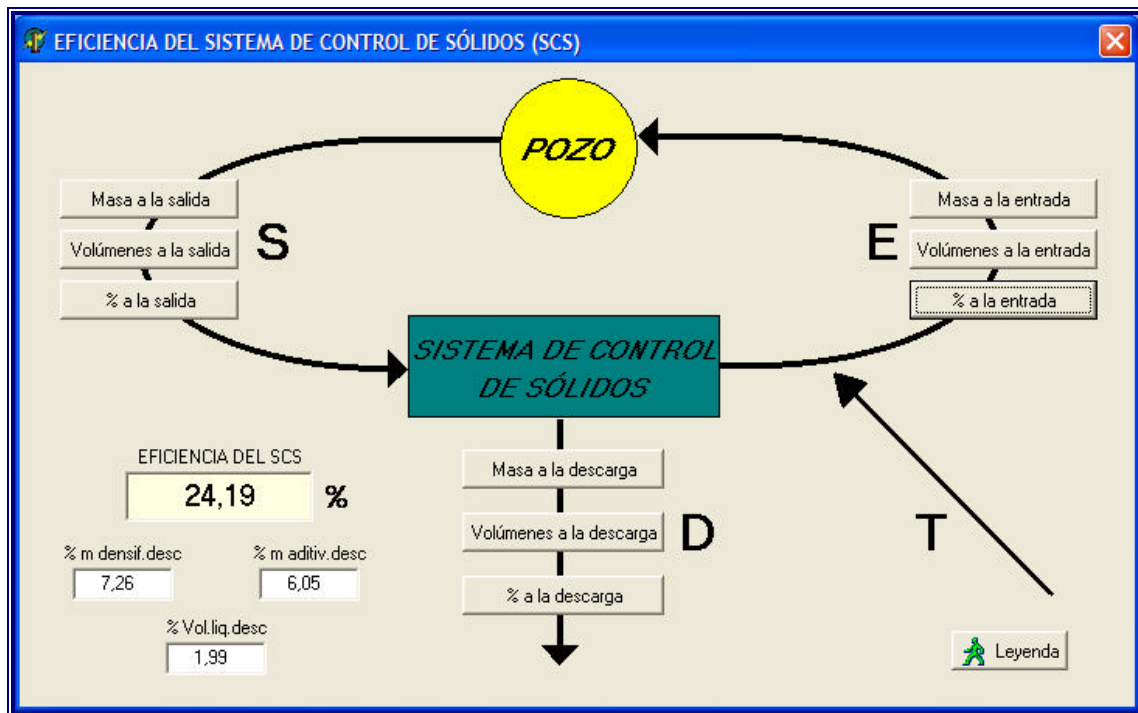


FIGURA N° 4.21: Resultados del Nuevo Programa (Delphi)

Adicionalmente, el programa reportará los diferentes flujos de masa a la salida, descarga y entrada del pozo, en la Figura N° 4.22 se muestra los flujos de los diferentes tipos de sólidos.

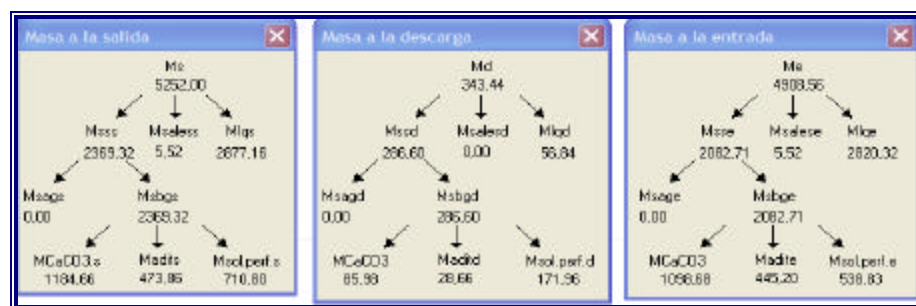


FIGURA N° 4.22: Flujos de Masa de los Diferentes Sólidos (Delphi)

En la Figura N° 4.23 se presentan las tasas de fluido a la salida, descarga y entrada del pozo.

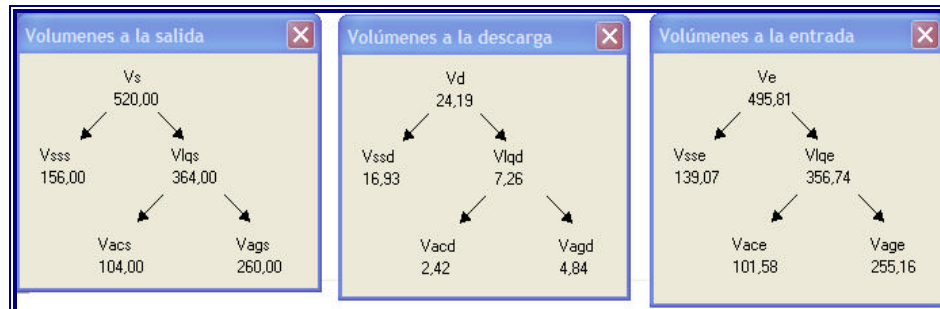


FIGURA N° 4.23: Tasas de Líquidos (Delphi)

Y finalmente se reporta en la Figura N° 4.24 los porcentajes de los diferentes sólidos y los volúmenes de los líquidos presentes a la salida, descarga y entrada del pozo.

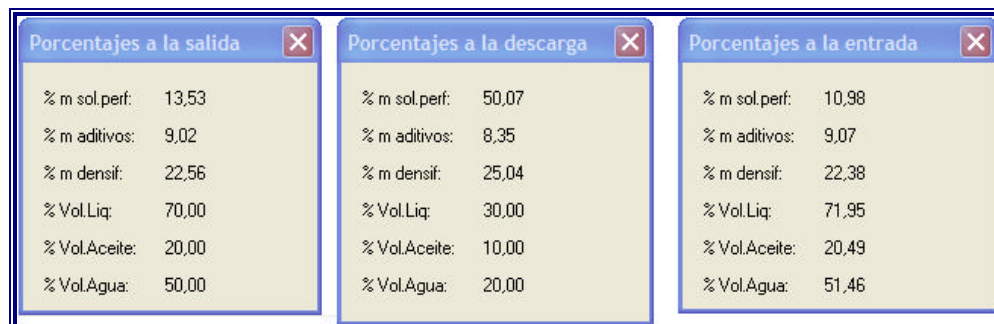


FIGURA N° 4. 24: Porcentajes de los Diferentes Tipos de Sólidos y Líquidos (Delphi)

# CONCLUSIONES

Luego de haber finalizado el presente trabajo se obtuvieron las siguientes conclusiones:

1. El nuevo método de evaluación basado en la nueva definición de los objetivos funcionales de los equipos de control de sólidos; refleja la verdadera función que deben cumplir los equipos de remoción.
  2. El nuevo método de evaluación distingue el densificante, aditivos de baja gravedad, carbonato, sales y sólidos de formación presentes a la salida del pozo y en la descarga del sistema; pero actualmente no existen herramientas para determinar los porcentajes de carbonato y aditivos presentes en una muestra.
  3. El nuevo método de evaluación cuantifica la cantidad de aditivos y líquido que es descartado por el sistema de extracción de sólidos, por lo que sugiere el tratamiento que debe aplicarse al fluido de perforación.
  4. Los métodos actuales de evaluación, presentan errores conceptuales en el parámetro de tiempo de toma de muestra y en la determinación de la geometría del pozo. Parámetros estos que no influyen en los resultados del nuevo método.
  5. Los datos de entrada de los actuales programas de evaluación, se prestan a errores conceptuales.
  6. Los métodos comerciales relacionan parámetros medidos (sólidos secos en la descarga) con parámetros teóricos (sólidos generados por la mecha), en el cálculo de la eficiencia.
  7. El nuevo concepto de eficiencia relaciona parámetros iguales, como es el caso de los sólidos de formación presentes a la salida del pozo y en la descarga del sistema.
-

## 5 CONCLUSIONES

---

8. En el método de porcentaje en volumen, no reporta los sólidos de alta gravedad, de baja gravedad y las sales presentes en la muestra.
  
9. Los métodos comerciales de porcentaje en volumen y en peso, no pueden ser utilizados cuando se perfora con fluidos de tipo emulsión, ni cuando el densificante es carbonato o hematina. Adicionalmente, este programa no distingue los aditivos y los sólidos de formación presentes en los sólidos de baja gravedad.
  
10. El nuevo método de evaluación, elaborado en el presente trabajo, puede ser utilizado en cualquier tipo de lodo.

# RECOMENDACIONES

Al finalizar el presente trabajo se ofrecen las siguientes sugerencias y recomendaciones:

1. Validar el nuevo método de evaluación, a través de un seguimiento de resultados de los equipos en el campo, con el programa elaborado en el presente trabajo.
  2. Desarrollar metodologías que permitan determinar el porcentaje de aditivos de baja gravedad, tales como: carbonato, bentonita, polímeros, lignosulfonatos, etc, presentes en una muestra.
  3. Realizar trabajos que incorporen las sugerencias del tratamiento del lodo, en el nuevo programa de evaluación.
  4. Incorporar cambios en el funcionamiento de los equipos de extracción de sólidos que permitan incrementar la eficiencia, es decir, ser más específico al momento de descartar los sólidos.
  5. Adiestrar al personal del taladro, en la comprensión de la metodología de los programas que se utilizan para el cálculo de la eficiencia de los equipos de control de sólidos.
  6. Realizar estudios del error que arroja el método de la retorta cuando se evalúan muestras de alto contenido de sólidos presentes en la descarga de los equipos.
-

# REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aponte, A. y Borrell, M. “Prácticas y bases para optimización en control de sólidos de perforación”. Informe Técnico. Los Teques. 2000.
  2. “Manual de ingeniería de fluidos de perforación”. MI. Texas, U.S.A. 2001.
  3. “Tecnología Aplicada a los fluidos de perforación”. CIED. Caracas. 1997.
  4. GIMENEZ, Jorge. “Guía de fluidos de perforación”. UCV. 2002.
  5. “Práctica y optimización del control de sólidos”. PDVSA. 1999.
  6. “Guía de Tecnología de Lodos”. HALIBURTON (INCO). 2002.
  7. “Manual de Fluidos”. BAROID. U.S.A. 1998.
  8. “Recommended Practice for Drilling Fluid Processing Systems Evaluation”. American Petroleum Insitute (API). Washington. 1999.
  9. “Método para el cálculo del porcentaje en peso de los sólidos en rípios”. PDVSA. Maturín. 2002.
-

---

# APÉNDICES

---

**APÉNDICE A****MÉTODO PARA EL CÁLCULO DEL PORCENTAJE EN PESO DE LOS SÓLIDOS DENTRO DE UN SISTEMA DE LODO <sup>[9]</sup>**

Para la determinación del porcentaje en peso de sólidos se utilizará la retorta y se realiza el siguiente procedimiento:

1. Limpiar y secar los accesorios de la retorta (copa y cuerpo)
2. Pesar y registrar el peso del cuerpo de la retorta con lanilla (Peso A), copa de la retorta vacío. (Peso B). Luego tarar la balanza.
3. Agregar los sólidos y registrar el peso mostrado en la balanza. (Peso C= sólidos húmedos)
4. Al sumar A, B y C se obtiene peso total de accesorios con sólidos húmedos. (Peso D)
5. Armar cuerpo y copa. Comenzar la prueba de retorta.
6. Pesar el cilindro graduado vacío. (Peso E)
7. Al finalizar la prueba de retorta dejar enfriar los accesorios.
8. Con cuidado desensamblar la copa. Tarar el peso y pesar la copa con tapa y sólidos secos. (Peso F)
9. Pesar el cuerpo con lanilla. (Peso G)
10. Al sumar F y G se obtiene peso total de accesorios con sólidos secos. (Peso H)



11. Restar H de (A+B) para obtener el peso de sólidos secos. (Peso I)
12. Registrar el volumen de aceite ( $V_{\text{aceite}}$ ) en el cilindro.
13. Registrar el volumen de agua ( $V_{\text{agua}}$ ) en el cilindro.
14. Pesar el cilindro con el contenido de líquido. (Peso J)
15. Restar J menos ( $V_{\text{agua}}+E$ ) para obtener la masa de aceite en gramos (Peso K)
16. Calcular el porcentaje en peso de aceite según la siguiente fórmula:

$$\% \text{ p/p aceite en ripio} = K*100/C$$

.....Ecuación A- 1

17. Calcular el porcentaje en peso de agua según la siguiente fórmula:

$$\% \text{ p/p agua en ripio} = V_{\text{agua}}*100/C$$

.....Ecuación A- 2

18. Registrar los valores de % v/v de agua, aceite y sólidos.

## APÉNDICE B

### METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE CLORUROS <sup>[5]</sup>

Los cloruros son la cantidad de iones de cloro presentes en el lodo.

#### • **Equipo:**

Los siguientes materiales son necesarios para la determinación de la concentración del ion cloruro en el filtrado de un fluido de perforación:

1. Solución de nitrato de plata ( $\text{AgNO}_3$ ) : con un contenido de 4.7910g/1000  $\text{cm}^3$  (equivalente a 0.001g de ion cloruro /  $\text{cm}^3$ ) envasada en una botella oscura.
2. Solución de cromato de potasio ( $\text{K}_2\text{CrO}_4$ ) : 5g/ 100  $\text{cm}^3$  de agua desionizada.
3. Solución de ácido sulfúrico 0.02N estandarizado o ácido nítrico.
4. Solución indicadora de fenolftaleína: 1g/100  $\text{cm}^3$  de alcohol etílico al 50 por ciento en volumen.
5. Carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) precipitado, grado químicamente puro.
6. Agua destilada.
7. Una pipeta de 1  $\text{cm}^3$ , una bureta de 25 $\text{cm}^3$  y un erlenmeyer 100-150  $\text{cm}^3$ .

#### • **Procedimiento:**

1. Recolectar el filtrado de la prueba estándar de filtración API.
2. Colocar un centímetro cúbico de filtrado en un erlenmeyer limpio y seco.
3. Añadir 2 a 3 gotas de solución de fenolftaleína.

4. Si un color rosado aparece, titular con ácido sulfúrico 0.02N hasta que el color rosado desaparezca. Si el filtrado está marcadamente coloreado, añadir 2 cm<sup>3</sup> adicionales de la solución ácida. Agitar.
5. Si el filtrado está muy oscurecido, añadir un gramo de carbonato de calcio y agitar.
6. Añadir 25 cm<sup>3</sup> de agua destilada y 5 a 10 gotas de cromato de potasio al recipiente de titulación.
7. Titular gota a gota con la solución de nitrato de plata usando la bureta.

NOTA: la agitación debe ser continua.

8. Continuar titulando hasta que el color cambie a rojo-naranja y permanezca por 30 segundos.
9. Registre el número de cm<sup>3</sup> de nitrato de plata necesarios para alcanzar el punto final. Registre la concentración del ion cloruro del filtrado en partes por millón, de la siguiente forma:

$$\text{Cloruros(mg/l)} = \frac{\text{cm}^3 \text{ de AgNO}_3 \times 1000}{\text{cm}^3 \text{ de filtrado}}$$

.....Ecuación B- 1

**APÉNDICE C****METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE AZUL DE METILENO** <sup>[5]</sup>

Los lodos frecuentemente contienen sustancias además de las arcillas reactivas que adsorben azul de metileno. El pretratamiento con peróxido de hidrógeno tiene la intención de remover el efecto de materiales orgánicos tales como lignosulfonatos, lignitos, polímeros celulósicos, poliacrilatos, etc.

**• Equipos:**

1. Solución de azul de metileno 3,20g ( $1 \text{ cm}^3 = 0.01 \text{ meq}$ ).
2. Peróxido de hidrógeno, solución al 3%.
3. Ácido sulfúrico aproximadamente 5N.
4. Jeringa de un ( $1 \text{ cm}^3$ ).
5. Cilindro graduado de  $50 \text{ cm}^3$ . Erlenmeyer de  $250 \text{ cm}^3$ .
6. Plancha de calentamiento.
7. Papel filtro Whatman No. 1.

**• Procedimiento:**

1. Medir  $1 \text{ cm}^3$  de la muestra de lodo en el erlenmeyer, el cual contiene  $10 \text{ cm}^3$  de agua destilada.
2. Añadir  $15 \text{ cm}^3$  de peróxido de hidrógeno al 3%.
3. Añadir  $0,5 \text{ cm}^3$  de ácido sulfúrico.
4. Hervir la muestra moderadamente por 10 minutos.
5. Después de hervir la muestra, llevar el volumen a un total de 50 cc con agua destilada. Permitir que la mezcla se enfríe.

6. Añadir la solución de azul de metileno en incrementos de 0,5 cm<sup>3</sup>. Después de cada adición, agitar el contenido por 30 segundos aproximadamente. Mientras los sólidos permanecen en suspensión, remover una gota del líquido con el agitador y colocarla sobre el papel filtro. El punto final se alcanza cuando un anillo azul-verdoso aparece alrededor de los sólidos teñidos.
7. Cuando se alcanza el punto final, agitar por 2 minutos y nuevamente en evidencia, se ha alcanzado el punto final. Si el anillo no aparece, continuar añadiendo azul de metileno hasta cuando se alcance el punto final y éste permanezca después de agitar por dos minutos adicionales. Registrar los cm<sup>3</sup> de azul de metileno utilizados.
8. El intercambio de cationes del lodo debe registrarse como la capacidad de azul de metileno calculada como sigue:

$$\text{Capacidad de azul de metileno(CEC)} = \text{cm}^3 \text{ de azul de metileno} / \text{cm}^3 \text{ de lodo}$$

.....Ecuación C- 1

El uso de peróxido de hidrógeno permite además estimar el contenido de bentonita del lodo sin interferencia de otros materiales adsorbentes. Los cálculos son los siguientes:

$$\text{Bentonita (lb/bbl)} = 5 * \text{CEC}$$

.....Ecuación C- 2

**APÉNDICE D****METODOLOGÍA DE CÁLCULO DEL CONTENIDO DE ARENA <sup>[5]</sup>**

Se considera como impureza la arena o sólidos superiores al tamiz N° 200. El equipo consiste de un tamiz N° 200 mesh de 2.5” de diámetro, unido a un embudo y un recipiente de vidrio (zanahoria) calibrado desde 0 a 20%. El porcentaje de arena se lee directamente del recipiente de vidrio y se registra en el informe de lodo.

**• Procedimiento:**

1. Llenar el recipiente de vidrio con lodo hasta la marca “lodo hasta aquí”. Añadir agua hasta la marca “agua hasta aquí”. Cubrir la boca del recipiente con el dedo pulgar y sacudir vigorosamente.
2. Verter la mezcla sobre el tamiz limpio previamente mojado. Descartar el líquido que pasa a través del tamiz. Agregar más agua al recipiente de vidrio, sacudir y verter de nuevo sobre el tamiz. Repetir hasta que el agua de lavado esté clara. El contenido retenido en el tamiz no debe aplastarse o forzarse con el dedo, lápiz o dispositivo alguno que pueda destruir la malla. Lavar la arena retenida sobre la malla con una corriente suave de agua para eliminar partículas de lodo.
3. Fijar el embudo en la parte superior del tamiz, invertirlo lentamente, colocando el pico del embudo en la boca del recipiente de vidrio y con una corriente suave de agua, lavar la arena. Dejar decantar la arena en el recipiente.
4. Observar el volumen de arena depositado y expresar el valor obtenido en porcentaje de arena contenido por el lodo.

# APÉNDICE E

## ESPECIFICACIONES PARA DIFERENTES TAMAÑOS DE CRIBAS Y FORMAS DE MALLAS <sup>[7]</sup>

Cribas de malla cuadrada				
Malla	Diámetro del alambre	Ancho de la abertura		Porcentaje de superficie abierta
	Pulgadas	Pulgadas	Micrones	
20 × 20	0.016	0.0340	863	46.2
30 × 30	0.013	0.0203	515	37.1
40 × 40	0.010	0.0150	381	36.0
50 × 50	0.009	0.0110	279	30.3
60 × 60	0.0075	0.0092	234	30.5
80 × 80	0.0055	0.0070	178	31.4
100 × 100	0.0045	0.0055	140	30.3
120 × 120	0.0037	0.0046	117	30.5
150 × 150	0.0026	0.0041	104	37.4
170 × 170	0.0024	0.0035	89	35.1
200 × 200	0.0021	0.0029	74	33.6
250 × 250	0.0016	0.0024	61	36

FIGURA E- 1: Especificaciones de Tamices de Malla Cuadrada

Cribas de malla oblonga				
Malla	Diámetro del alambre	Ancho/largo de la abertura		Porcentaje de superficie abierta
	Pulgadas	Pulgadas	Micrones	
20 × 30	0.014	0.036/0.0193	914/490	41.8
20 × 40	0.013	0.037/0.012	940/305	35.6
20 × 60	0.009	0.041/0.0076	1,041/193	34.0
40 × 60	0.009	0.016/0.0076	406/193	29.4
40 × 80	0.0075	0.0181/0.0055	457/140	35.6

FIGURA E- 2: Especificaciones de Tamices de Malla Oblonga

**APÉNDICE F****MANTENIMIENTO Y LOCALIZACIÓN DE ERRORES DE LOS DESARENADORES Y DESLIMADORES <sup>[2]</sup>****1. Ninguna descarga de sólidos húmedos en el vértice (fondo)**

- a) **Abertura del fondo (vértice) obturada.** Apagar la unidad. Soltar el ajuste inferior. Empujar una varilla desde la abertura del fondo hacia arriba, para remover el lodo seco o aglomerado. Si esto no da resultados, retirar la tapa del hidrociclón y quitar el objeto que está obstruyendo el vértice.

Asegurarse que el lodo no esté contorneando la zaranda. Ajustar de nuevo el fondo y volver a colocar la tapa del hidrociclón.

- b) **Presión de alimentación (cabeza hidrostática) demasiado alta.** Ajustar la presión de cabeza correcta, o  $75 \pm 5$  ft, usando un manómetro preciso.
- c) **Lodo limpio de todas las partículas que los hidrociclones pueden eliminar.** Si la perforación es muy lenta o si la unidad está funcionando durante un viaje, la remoción puede aproximarse a cero en el flujo que sale por abajo y la unidad debería ser apagada y sólo debe ser operada periódicamente.
- d) **Tobera de admisión, buscador de vértice o DI de hidrociclón desgastado.** Retirar y examinar el hidrociclón para determinar si está excesivamente desgastado.

Reemplazar el hidrociclón si existe alguna duda en lo que se refiere a su estado.

- e) **Hidrociclón incorrectamente instalado.** Retirar y examinar el hidrociclón, e instalarlo de nuevo de acuerdo con las instrucciones del fabricante.



## 2. Gran descarga de líquido a través del vértice (fondo)

- a) **Presión de alimentación (cabeza hidrostática) demasiado baja.** Examinar el tubo de succión de la bomba para determinar si hay alguna obstrucción, si el nivel del líquido es inadecuado para la succión de la bomba, o si está entrando aire por el tubo de succión. Examinar las paletas de la rueda móvil de la bomba para determinar si están desgastadas y si son del tamaño correcto. Examinar la descarga de la bomba para determinar si el múltiple está correctamente encaminado hacia una sola unidad de control de sólidos de hidrociclón. Verificar el estado del empaque de la bomba y la alineación-espacio libre de la rueda móvil de la bomba. Asegurarse que el compartimiento de succión de la bomba esté equilibrado por el fondo con el compartimiento de descarga del flujo que sale por arriba ubicado corriente abajo.
  
- b) **Tobera de admisión del hidrociclón obturada, resultando en una presión de alimentación inadecuada.** Retirar y examinar el hidrociclón, quitando cualquier objeto que esté obturando la tobera de admisión. Si la obturación de la alimentación ocurre frecuentemente, examinar cuidadosamente la zaranda para determinar si los recortes la están contorneando, y las mallas para detectar cualquier agujero/rasgadura. Instalar una malla de succión en la bomba centrífuga. No contornear la zaranda.
  
- c) **Buscador de vértice obturado, causando una contrapresión en el hidrociclón.** Retirar y examinar el hidrociclón, quitando cualquier objeto que esté obturando el tubo vertical. Si la obturación de la alimentación ocurre frecuentemente, examinar cuidadosamente la zaranda para determinar si los recortes la están contorneando, y las mallas para detectar cualquier agujero/rasgadura. Instalar una malla de succión en la bomba centrífuga. No contornear la zaranda.

- d) **Tobera de admisión, buscador de vértice o DI de hidrociclón desgastado.** Retirar y examinar el hidrociclón para determinar si está excesivamente desgastado. Reemplazar el hidrociclón si existe alguna duda en lo que se refiere a su estado.
- e) **Hidrociclón incorrectamente instalado.** Retirar y examinar el hidrociclón, e instalarlo de nuevo de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

### 3. Obturación de los hidrociclones

- a) **Cabezal de alimentación (que alimenta las toberas de admisión del hidrociclón) obturado.** Apagar la bomba de alimentación, retirar el tapón ciego del extremo del cabezal de admisión y quitar la obstrucción. Volver a colocar el tapón ciego y encender de nuevo la bomba después de examinar la malla de succión. No contornear la zaranda.
- b) **Hidrociclón sobrecargado (descarga tipo sogá).** Se requiere una mayor capacidad de control de sólidos. El sistema de remoción de sólidos no puede manejar las velocidades de perforación y/o las cargas de sólidos excesivas.

### 4. Fluctuación de la cabeza hidrostática de admisión

- a) **Succión de la bomba obstruida.** Examinar la succión de la bomba para determinar si hay alguna obstrucción, lodo cortado por gas o espuma. Controlar el estado general de la bomba y las tuberías.

# APÉNDICE G

## DEDUCCIÓN DE LAS ECUACIONES UTILIZADAS EN LOS PROGRAMAS ENTREGADOS POR LAS EMPRESAS DE SERVICIOS

### PROGRAMA DE PORCENTAJE EN VOLUMEN.

Las ecuaciones de este programa se basan en la definición de densidad y de un balance másico, tal como se muestra a continuación:

1. Definición de la densidad:

$$\boxed{r = \frac{m}{Vol.}} \dots\dots\dots \text{Ecuación G- 1}$$

donde:

- ρ = densidad, lpg.
- m = masa, lb.
- Vol.= Volumen, Gal.

2. Calculo de la densidad de una mezcla, a través de la ponderación másica:

$$m_{MEZCLA} = m_{SÓLIDOS} + m_{LIQUIDO} \dots\dots\dots \text{Ecuación G- 2}$$

Sustituyendo ecuación G- 1 en ecuación G- 2 nos queda:

$$Vol_{MEZCLA} * r_{MEZCLA} = Vol_{SÓL.} * r_{SÓL.} + Vol_{LIQ.} * r_{LIQ.} \dots\dots\text{Ecuación G- 3}$$

Despejando Vol. MEZCLA de la ecuación G- 3 nos queda las siguientes ecuaciones:

$$r_{MEZCLA} = \frac{Vol_{SÓL.}}{Vol_{MEZCLA}} * r_{SÓL.} + \frac{Vol_{LIQ.}}{Vol_{MEZCLA}} * r_{LIQ.} \Rightarrow \dots\dots\dots \text{Ecuación G- 4}$$

$$r_{MEZCLA} = \%Vol_{SÓL.} * r_{SÓL.} + \%Vol_{LIQ.} * r_{LIQ.} \dots\dots\dots \text{Ecuación G- 5}$$

Donde:

- $\%Vol_{SÓL.}$  = Fracción en volumen de sólidos [Fracción].
- $r_{MEZCLA}$  = Densidad de la mezcla [lb/Gal].
- $r_{SÓL.}$  = Densidad de los sólidos de la mezcla [lb/Gal].
- $\%Vol_{LIQ.}$  = Fracción en volumen de líquido [Fracción].
- $r_{LIQ.}$  = Densidad del líquido de la mezcla [lb/Gal].

En la Figura N° 3.2.3 de la metodología se presentó el programa suministrado por la empresa de servicio, y allí se muestran números del 1 al 9 en un recuadro morado, donde el número representa cada uno de los cálculos a continuación:

1. Cálculo del flujo másico de los sólidos húmedos descartados por el equipo de control de sólidos:

$$\dot{m}_{SÓL.HUM.DESC} = \frac{m_{SÓL.HUM.DESC}}{t_{TOMA MEZCLA}} \dots\dots\dots \text{Ecuación G- 6}$$

Sustituyendo la masa de sólidos húmedos descartados por ecuación G- 1 se obtiene:

$$\dot{m}_{SÓL.HUM.DESC} = \frac{Vol_{TOMA.MUESTRA} * r_{SÓL.HUM.DESC}}{t_{TOMA MUESTRA}} * \left[ 3600 \frac{seg}{hr} \right]$$

..... Ecuación G- 7

Donde:

- $\dot{m}_{SÓLHUM.DESC}$  = Flujo másico de los sólidos húmedos descartados [lb/hr].
- $r_{SÓLHUM.DESC}$  = Densidad de los sólidos húmedos de la muestra [lb/Gal].
- $t_{TOMA MUESTRA}$  = tiempo que se tardó en tomar la muestra [Seg].
- $Vol_{.TOMA.MUESTRA}$  = Volumen de toma de muestra, generalmente ¼ de Galón.

2. Cálculo del flujo másico de los sólidos secos descartados por el equipo de control de sólidos:

De la ecuación G- 4 se obtiene despejando la masa de sólidos secos:

$$r_{SÓLHUM.DESC} = \frac{Vol_{.SÓLSECOSDESC}}{Vol_{.TOMAMUESTRA}} * r_{SÓLSECOSDESC} + \frac{Vol_{.LIQ.}}{Vol_{.TOMAMUESTRA}} * r_{LIQ.}$$

.....Ecuación G- 8

Sabiendo de ecuación G- 1 que:

$$m_{SÓLSECOS.DESC} = Vol_{.SÓLSECOS.DESC} * r_{SÓLSECOS.DESC} \dots\dots \text{Ecuación G- 9}$$

Ahora sustituyendo G- 9 en G- 8 y despejando masa de sólidos secos se tendrá:

$$m_{SÓLSECOS.DESC} = r_{SÓLHUM.DESC} * Vol_{.TOMAMUESTRA} - Vol_{.LIQ.} * r_{LIQ.} \dots \text{Ecuación G- 10}$$

Luego sabiendo que:

$$Vol_{.LIQ.} = Vol_{.TOMAMUESTRA} * \%Vol_{.LIQ.} \dots\dots\dots\text{Ecuación G- 11}$$

Ahora sustituyendo G-11 en G- 10 nos queda:

$$m_{SÓL.SECOS.DESC} = (r_{SÓL.HUM.DESC} - \%Vol.LIQ. * r_{LIQ.}) * Vol.TOMA.MUESTRA \dots \text{Ecuación G- 12}$$

Para convertirlo en flujo másico se dividirá entre el tiempo en el cual se toma la muestra:

$$\dot{m}_{SÓL.SECOS.DESC} = \frac{(r_{SÓL.HUM.DESC} - \%Vol.LIQ. * r_{LIQ.}) * Vol.TOMA.MUESTRA}{t_{TOMA MUESTRA}} * \left[ 3600 \frac{seg}{hr} \right]$$

.....Ecuación G- 13

Donde:

- $\dot{m}_{SÓL.SECOS.DESC}$  = Flujo másico de los sólidos secos descartados [lb/hr].
- $\%Vol.LIQ.$  = Fracción en volumen de líquido de la muestra [fracción].
- $r_{LIQ.}$  = Densidad líquido [lb/Gal] =  $r_{LIQUIDO} = r_{AGUA} * GE_{BASE}$
- $r_{AGUA}$  = Densidad del agua = 8,33 [lb/Gal].
- $GE_{BASE}$  = Gravedad especifica del fluido base (agua o petróleo) [Adimensional].

3. Cálculo del flujo másico del líquido descartado por el equipo de control de sólidos:

Conociendo el flujo másico de sólidos húmedos descartados y de los sólidos secos descartados; y por diferencia de esos valores se obtendrá el flujo másico de líquido descartado:

$$\dot{m}_{LIQ.DESC} = \dot{m}_{SÓL.HUM.DESC} - \dot{m}_{SÓL.SECOS.DESC} \dots \text{Ecuación G- 14}$$

Donde:

- $\dot{m}_{LIQ.DESC}$  = Flujo másico del líquido descartados [lb/hr].

4. Cálculo de la Gravedad específica de los sólidos presentes en la mezcla:

De la ecuación G- 5 se tendrá la siguiente ecuación:

$$r_{SÓL.HUM.DESC} = \%Vol_{.SÓL.SECOS.DESC} * r_{SÓL.SECOS.DESC} + \%Vol_{.LIQUIDO} * r_{LIQUIDO}$$

..... Ecuación G- 15

Ahora sabiendo que:

$$r_{SÓL.SECOS.DESC} = GE_{SÓL.SECOS.DESC} * 8,33 \dots\dots Ecuación G- 16$$

Sustituyendo G- 16 en G- 15 y despejando  $GE_{SÓL.SECOS.DESC}$  se tendrá:

$$GE_{SÓL.SECOS.DESC} = \frac{r_{SÓL.HUM.DESC} - (\%Vol_{.LIQ.} * 8,33 * GE_{LIQ.})}{\%Vol_{.SÓL.SECOS.DESC} * 8,33}$$

. Ecuación G- 17

Donde:

$GE_{SÓL.SECOS.DESC}$  = Gravedad específica de los sólidos secos presentes en la muestra [Adimensional].

$\%Vol_{.SÓL.SECOS.DESC}$  = Fracción en volumen de sólidos secos descartados [Fracción].

5. Cálculo del porcentaje de sólidos de baja gravedad presentes en los sólidos secos :

De la ecuación G- 5 se despeja el porcentaje en volumen de los sólidos de baja gravedad presente en los sólidos secos descartados:

$$r_{SÓL.SECOS.DESC} = \%Vol_{.DENSIFICANTE} * r_{DENSIFICANTE} + \%Vol_{.SOL. BG.} * r_{SOL. BG.}$$

.....Ecuación G- 18

$$8,33 * GE_{SÓL.SECOS.DESC} = (1 - \%Vol_{.SOL. BG.}) * 8,33 * GE_{DENSIFICANTE} + \%Vol_{.SOL. BG.} * 8,33 * GE_{SOL. BG.}$$

..... Ecuación G- 19

$$\%Vol_{.SOL. BG.} = \frac{GE_{DENSIFICANTE} - GE_{SÓL.SECOS.DESC}}{GE_{DENSIFICANTE} - GE_{SOL. BG.}} \text{ ..... Ecuación G- 20}$$

Donde:

$\%Vol_{.SOL. BG.}$  = Fracción de sólidos de baja gravedad presentes en los sólidos secos de la muestra [fracción].

$GE_{DENSIFICANTE}$  = Gravedad específica del densificante [Adimensional].

$GE_{SÓL.BG}$  = Gravedad específica de los sólidos de baja gravedad [Adimensional].

6. Cálculo de los sólidos húmedos descartado por el sistema de control de sólidos:

Para el cálculo de los sólidos secos descarto se realizará la sumatoria de todos los flujos máscicos de los sólidos húmedos descartados por las zarandas y el 3 en 1, tal como se muestra a continuación:

$$\dot{m}_{SÓL.HUM. .DESC. TOTAL} = \sum \dot{m}_{SÓLIDOS HUM. DESC ARTADOS. i} \text{ ..... Ecuación G- 21}$$

Donde:

$\dot{m}_{SÓL.HUM. .DESC. TOTAL}$  = flujo máscico de sólidos húmedos total descartado por el sistema [lb/hr].

7. Cálculo de los sólidos secos descartado por el sistema de control de sólidos:

Para el cálculo de los sólidos secos descarto se realizará la sumatoria de todos los flujos máscicos de los sólidos secos descartados por las zarandas y el 3 en 1, tal como se muestra a continuación:



$$\dot{m}_{SÓL.SECOS.DESC.TOTAL} = \sum \dot{m}_{SÓLIDOS.SECOS.DE.SCARTADOS.i} \dots \text{Ecuación G- 22}$$

Donde:

$\dot{m}_{SÓL.SECOS.DESC.TOTAL}$  = flujo másico de sólidos secos total descartado por el sistema [lb/hr].

8. Cálculo de los sólidos de perforación totales generados:

$$\dot{m}_{SÓL.PERF.GENERADOS} = \frac{Vol.HOYO * r_{ROCA}}{t_{RUPTURA DE LA ROCA}} \dots \text{Ecuación G- 23}$$

Descomponiendo la ecuación G- 23 nos queda:

$$\dot{m}_{SÓL.PERF.GENERADOS} = \frac{Area_{HOYO} * L * r_{ROCA}}{t_{RUPTURA DE LA ROCA}} \Rightarrow Area_{HOYO} * (8,33 * GE_{ROCA}) * \frac{L}{t_{RUPTURA DE LA ROCA}} \Rightarrow$$

$$\dot{m}_{SÓL.PERF.GENERADOS} = \left[ \frac{p}{4} * (D_{HOYO})^2 \right] * (8,33 * GE_{ROCA}) * ROP \Rightarrow \left[ \frac{p}{4} * 8,33 \right] * (D_{HOYO})^2 * GE_{ROCA} * ROP \Rightarrow$$

Luego sustituyendo los factores de conversión se tendrá:

$$\dot{m}_{SÓL.PERF.GENERADOS} = 6,53905 * \left[ \frac{12 \text{ in} / \text{ft}}{231 \text{ in}^3 / \text{Gal}} \right] * (D_{HOYO})^2 * GE_{ROCA} * ROP \Rightarrow$$

Y finalmente del flujo másico de sólidos perforados será:

$$\dot{m}_{SÓL. PERF. GENERADOS} = 0,339863 * (D_{HOYO})^2 * GE_{ROCA} * ROP$$

..... Ecuación G- 24

Donde:

- $\dot{m}_{SÓL. PERF. GENERADOS}$  = Flujo másico de sólidos de perforación generados por el taladro de perforación [lb/hr].
- $ROP$  = Tasa de penetración actual del taladro [Pies/hr].
- $D_{HOYO}$  = Diámetro de la mecha [pulg].
- $GE_{ROCA}$  = Gravedad específica de los sólidos de formación [Adimensional].

9. Cálculo de la eficiencia del sistema de control de sólidos:

La eficiencia se definió como el total de sólidos secos descartados por el sistema de control de sólidos entre el total de sólidos generados por la perforación de la formación, tal como se muestra a continuación:

$$Ef_{EQUIPOS} = \frac{\sum \dot{m}_{SÓLIDOS SECOS DES CARTADOS. i}}{\dot{m}_{SÓLIDOS PERF. GENERADOS}} * 100 \quad \dots \text{ Ecuación G- 25}$$

Donde:

- $Ef_{EQUIPOS}$  = Eficiencia de los equipos de control de sólidos [%].

**PROGRAMA DE CÁLCULO DE EFICIENCIA EN PORCENTAJE EN PESO.**

Las ecuaciones de este programa se basan en la definición de densidad y de la ponderación volumétrica, tal como se muestra a continuación:

1. Calculo de la densidad de una mezcla, a través de la ponderación volumétrica:

$$V_{MEZCLA} = V_{SÓL.} + V_{LIQ.} \dots\dots\dots \text{Ecuación G- 26}$$

Sustituyendo ecuación G- 1 en ecuación G-26 nos queda:

$$\frac{m_{MEZCLA}}{r_{MEZCLA}} = \frac{m_{SÓL.}}{r_{SÓL.}} + \frac{m_{LIQ.}}{r_{LIQ.}} \dots\dots\dots \text{Ecuación G- 27}$$

Despejando  $m_{MEZCLA}$  nos queda como ecuación final:

$$\frac{1}{r_{MEZCLA}} = \frac{m_{SÓL.}}{m_{MEZCLA} * r_{SÓL.}} + \frac{m_{LIQ.}}{m_{MEZCLA} * r_{LIQ.}} \Rightarrow \dots\dots\dots \text{Ecuación G- 28}$$

$\frac{1}{r_{MEZCLA}} = \frac{\%m_{SÓL.}}{r_{SÓL.}} + \frac{\%m_{LIQ.}}{r_{LIQ.}}$	..... Ecuación G- 29
--	----------------------

Donde:

$\%m_{SÓL.}$  = Fracción en peso de sólidos [Fracción].

$\%m_{LIQ.}$  = Fracción en peso de líquido [Fracción].

En la Figura N° 3.2.4 de la metodología se presentó el programa suministrado por la empresa de servicio, y allí se muestran números del 1 al 15 en un recuadro morado, donde el número representa cada uno de los cálculos a continuación:

1. Cálculo del flujo másico de los sólidos húmedos descartados por el equipo de control de sólidos:

Para realizar este cálculo se utilizó la siguiente ecuación:

$$\dot{m}_{SÓL.HUM..DESC} = \frac{m_{SÓL.HUM.DESC}}{t_{TOMA MUESTRA}} \dots\dots\dots \text{Ecuación G- 30}$$

Donde:

$m_{SÓL.HUM.DESC}$  = Masa de la muestra tomada en la descarga, [lb].

2. Cálculo del flujo másico de los sólidos secos descartados por el equipo de control de sólidos:

$$\dot{m}_{SÓL. SECOS.DESC} = \frac{m_{SÓL. SECOS MUESTRA}}{m_{SÓL. ANTES DE SECAR MUESTRA}} * \dot{m}_{SÓL.HUM.DESC} \dots\dots \text{Ecuación G- 31}$$

$$\dot{m}_{SÓL. SECOS.DESC} = \%m_{SÓL. SECOS MUESTRA} * \dot{m}_{SÓL.HUM.DESC} \dots\dots \text{Ecuación G- 32}$$

Donde:

$\%m_{SÓL. SECOS.MUESTRA}$  = Fracción de sólidos secos en la muestra [fracción].

3. Cálculo del flujo másico del líquido descartados por el equipo de control de sólidos:

Conociendo el flujo másico de sólidos húmedos descartados y de los sólidos secos descartados; y por diferencia de esos valores se obtendrá el flujo másico de líquido descartado, de la ecuación G- 14.

4. Cálculo de la tasa de líquido descartado por el equipo de control de sólidos:

$$\dot{Vol}_{LIQ.DES} = \frac{\dot{m}_{LIQ.DES}}{8,33 * GE_{BASE.DES}} \dots\dots\dots \text{Ecuación G- 33}$$

Donde:

$\dot{Vol}_{LIQ.DES}$  = Tasa de liquido descartados [Gal/hr].

5. Cálculo de la Gravedad especifica de los sólidos presentes en la mezcla:

De la ecuación G- 28 se tendrá la siguiente ecuación:

$$\frac{1}{r_{SOL.HUM.DESC}} = \frac{\%m_{SÓL.SECOS.DESC}}{r_{SOL.SECOS.DESC}} + \frac{\%m_{LIQ.DESC}}{r_{LIQ.DESC}} \dots\dots\dots \text{Ecuación G- 34}$$

Ahora conociendo la ecuación G- 16 y despejando  $GE_{SOL.SECOS.DESC}$  se tendrá:

$$GE_{SOL.SECOS.DESC} = \frac{\%m_{SÓL.SECOS.DESC}}{\left( \frac{8,33}{r_{SOL.HUM.DESC}} - \frac{\%m_{LIQ.DESC}}{GE_{BASE.DESC}} \right)} \dots\dots\dots \text{Ecuación G- 35}$$

6. Cálculo del porcentaje de sólidos de alta gravedad presentes en los sólidos secos:

De la ecuación G- 28 despejamos el porcentaje en volumen de sólidos de alta gravedad presente en los sólidos secos descartados:

$$\frac{1}{r_{SOL.HUM.DESC}} = \frac{\%m_{SAG.DESC}}{r_{SAG.DESC}} + \frac{\%m_{SÓL.PERF.DESC}}{r_{SÓL.PERF.DESC}} \dots\dots\dots \text{Ecuación G- 36}$$

$$\frac{1}{GE_{SOL.HUM.DESC} * 8,33} = \frac{\% m_{SAG.DESC}}{GE_{SAG.DESC} * 8,33} + \frac{1 - \% m_{SAG.DESC}}{GE_{SÓL.PERF.DESC} * 8,33} \dots\dots\dots \text{Ecuación G- 37}$$

$$\% m_{SAG.DESCC} = \left( \frac{\left( \frac{1}{GE_{SOL.HUM.DESC}} - \frac{1}{GE_{SÓL.PERF.DESC}} \right)}{\left( \frac{1}{GE_{SAG.DESCC}} - \frac{1}{GE_{SÓL.PERF.DESC}} \right)} \right) \dots\dots\dots \text{Ecuación G- 38}$$

Donde:

$\%m_{SAG.DESC}$  = Fracción en masa del densificante presente en los sólidos secos descartados [Fracción].

7. Cálculo del porcentaje de sólidos de baja gravedad presentes en los sólidos secos :

$$\%m_{SOL. BG.} = 1 - \%m_{SAG.DESC} \dots\dots\dots \text{Ecuación G- 39}$$

Donde:

$\%m_{SOL. BG.}$  = Fracción de sólidos de baja gravedad presentes en los sólidos secos de la muestra [Fracción].

8. Cálculo del flujo másico de sólidos de alta gravedad descartado por los equipos de control de sólidos:

$$\dot{m}_{SOL. AG.} = \%m_{SOL. AG.} * \dot{m}_{SÓL.SECOS.DESC} \dots\dots\dots \text{Ecuación G- 40}$$

Donde:

$\dot{m}_{SOL. AG.}$  = Flujo másico de sólidos de alta gravedad descartado [lb/hr].

9. Cálculo del flujo másico de sólidos de baja gravedad descartado por los equipos de control de sólidos:

$$\dot{m}_{SOL. BG.} = \%m_{SOL. BG.} * \dot{m}_{SÓL.SECOS.DESC} \dots\dots\dots \text{Ecuación G- 41}$$

Donde:

$\dot{m}_{SOL. BG.}$  = Flujo másico de sólidos de baja gravedad descartado [lb/hr].

10. Cálculo de los sólidos húmedos descartado por el sistema de control de sólidos:

Para el cálculo de los sólidos secos descarto se realizará la sumatoria de todos los flujos másicos de los sólidos húmedos descartados por las zarandas y el 3 en 1, tal como se muestra a continuación:

$$\dot{m}_{SÓL.HUM. .DESC. TOTAL} = \sum \dot{m}_{SÓLIDOS HUM. DESC ARTADOS. i} \dots\dots \text{Ecuación G- 42}$$

Donde:

$\dot{m}_{SÓL.HUM.DESC.TOTAL}$  = flujo másico de sólidos húmedos total descartado por el sistema [lb/hr].

11. Cálculo del líquido descartado por el sistema de control de sólidos:

Para el cálculo del líquido descarto se realizará la sumatoria de todos los flujos másicos de líquido descartados por las zarandas y el 3 en 1, tal como se muestra a continuación:

$$\dot{m}_{LIQ.DESC.TOTAL} = \sum \dot{m}_{LIQ.DESC. i} \dots\dots\dots \text{Ecuación G- 43}$$

Donde:

$\dot{m}_{LIQ.DESCTOTAL}$  = flujo másico del líquido total descartado por el sistema [lb/hr].

Para el cálculo del volumen de líquido descarto será:

$$\dot{Vol}_{LIQ.DESC.TOTAL} = \frac{\dot{m}_{LIQ.DESC.TOTAL}}{8,33 * GE_{BASE} * 42} \dots\dots\dots \text{Ecuación G- 44}$$

Donde:

$\dot{Vol}_{LIQ.DESC.TOTAL}$  = volumen del líquido total descartado por el sistema [Bbls/hr].

12. Cálculo de los sólidos secos descartado por el sistema de control de sólidos:

Para el cálculo de los sólidos secos descarto se realizará la sumatoria de todos los flujos máxicos de los sólidos secos descartados por las zarandas y el 3 en 1, tal como se mostró en la ecuación G- 22.

13. Cálculo de los sólidos de alta gravedad descartado por el sistema de control de sólidos:

Para el cálculo de los sólidos de alta gravedad descartado se realizará la sumatoria de todos los flujos máxicos de los sólidos de alta gravedad descartados por las zarandas y el 3 en 1, tal como se muestra a continuación:

$$\dot{m}_{SAG.DESC.TOTAL} = \sum \dot{m}_{SÓLIDOS \ AG. \ DESCA \ RTADOS. \ i} \dots\dots\dots \text{Ecuación G- 45}$$

Donde:

$\dot{m}_{SAG.DESC.TOTAL}$  = flujo máxico de sólidos de alta gravedad total descartado por el sistema [lb/hr].

14. Cálculo de los sólidos de baja gravedad descartado por el sistema de control de sólidos:



Para el cálculo de los sólidos de baja gravedad descartado se realizará la sumatoria de todos los flujos máxicos de los sólidos de baja gravedad descartados por las zarandas y el 3 en 1, tal como se muestra a continuación:

$$\dot{m}_{SBG.DESC.TOTAL} = \sum \dot{m}_{SÓLIDOS\ BG.\ DESCARTADOS.i} \dots\dots\dots \text{Ecuación G- 46}$$

Donde:

$\dot{m}_{SBG.DESC.TOTAL}$  = flujo máxico de sólidos de baja gravedad total descartado por el sistema [lb/hr].

15. Cálculo de los sólidos de perforación totales generados:

Para realizar este cálculo se aplicó el mismo procedimiento del paso 8 del programa en volumen y de la ecuación G- 24.

16. Cálculo de la eficiencia de los equipos de control de sólidos:

La eficiencia se definió como el total de sólidos de baja gravedad descartados por el sistema de control de sólidos entre el total de sólidos generados por la perforación de la formación, tal como se muestra a continuación:

$$Ef_{EQUIPOS} = \frac{\dot{m}_{SBG.DESC.TOTAL}}{\dot{m}_{SÓLIDOS\ PERF.\ GENERADOS}} * 100 \dots\dots \text{Ecuación G- 47}$$

Donde:

$Ef_{EQUIPOS}$  = Eficiencia de los equipos de control de sólidos [%].

## APÉNDICE H

### DEDUCCIÓN DE LAS NUEVAS ECUACIONES INTRODUCIDAS EN EL BALANCE DE MASA

#### PROGRAMA EN PORCENTAJE EN VOLUMEN:

Para realizar los siguientes cálculos se requiere como dato el % de aceite del método de la retorta.

1. Cálculo del porcentaje en volumen del contenido de Agua en la mezcla:

$$\%Vol_{AGUA} = \%Vol_{LIQ.} - \%Vol_{ACEITE} \dots\dots\dots \text{Ecuación H- 1}$$

Donde:

$\%Vol_{AGUA}$  = Fracción en Volumen de agua de la mezcla [fracción].

$\%Vol_{ACEITE}$  = Fracción en Volumen de aceite de la mezcla [fracción].

2. Cálculo de la Gravedad especifica del líquido:

De la ecuación G-4 se tiene:

$$r_{LIQUIDO} = \frac{Vol_{AGUA}}{Vol_{LIQ.}} * r_{AGUA} + \frac{Vol_{ACEITE}}{Vol_{LIQ.}} * r_{ACEITE} \dots\dots \text{Ecuación H- 2}$$

Ahora, dado que:

$$r = GE * r_{AGUA} \Rightarrow GE * 8,33 \dots\dots\dots \text{Ecuación H- 3}$$

Y sustituyendo H-3 en H-2 nos queda que gravedad especifica del liquido será:

$$GE_{LIQUIDO} * 8,33 = \frac{Vol_{AGUA}}{Vol_{LIQUIDO}} * GE_{AGUA} * 8,33 + \frac{Vol_{ACEITE}}{Vol_{LIQUIDO}} * GE_{ACEITE} * 8,33$$

..... Ecuación H- 4

Debido a que la siguiente relación se cumple:

$$\frac{\%Vol_{AGUA}}{\%Vol_{LIQUIDO}} = \frac{Vol_{AGUA}}{Vol_{LIQUIDO}} \text{ ..... Ecuación H- 5}$$

Por lo tanto sustituyendo H-5 en H-4 se tendrá que:

$$GE_{LIQUIDO} = \frac{\%Vol_{AGUA} * GE_{AGUA} + \%Vol_{ACEITE} * GE_{ACEITE}}{\%Vol_{LIQUIDO}}$$

..... Ecuación H- 6

Donde:

- $GE_{LIQUIDO}$  = Gravedad especifica del liquido [Adimensional].
- $GE_{AGUA}$  = Gravedad especifica del Agua = 1 [Adimensional].
- $GE_{ACEITE}$  = Gravedad especifica del aceite [Adimensional].

3. Cálculo de la tasa de Aceite descartado por el equipo de control de sólidos: este cálculo se realiza cuando el lodo de perforación tiene en su fase líquido la presencia de un fluido base aceite, por ejemplo en emulsiones normales e inversas o en lodos 100% aceite.

Despejando la ecuación G-1, y con el porcentaje en volumen de aceite y de líquido obtenido en la retorta se tendrá que:

$$\dot{Vol}_{ACEITE} = \frac{\dot{m}_{LIQ.}}{\tilde{n}_{ACEITE}} * \%Vol_{ACEITE \text{ RESP AL LIQ.}} \dots\dots\dots \text{Ecuación H- 7}$$

Sabiendo que:

$$\%Vol_{ACEITE \text{ RESP AL LIQ.}} = \frac{\%Vol_{ACEITE}}{\%Vol_{LIQ.}} \dots\dots\dots \text{Ecuación H- 8}$$

$$\dot{Vol}_{ACEITE} = \frac{\dot{m}_{LIQUIDO}}{8,33 * GE_{ACEITE}} * \frac{\%Vol_{ACEITE}}{\%Vol_{LIQ.}} \dots\dots\dots \text{Ecuación H- 9}$$

Donde:

- $\dot{Vol}_{ACEITE}$  = Tasa de aceite descartados [Gal/hr].
- $\%Vol_{ACEITE \text{ RESP. AL LIQ.}}$  = Fracción en volumen del aceite respecto al líquido obtenido en la retorta (Agua y Aceite).

Para calcular la tasa de aceite descartado en Bbls/hr se dividirá entre 42 [Gal/Bbls]:

$$\dot{Vol}_{ACEITE} = \frac{\dot{Vol}_{ACEITE}}{42[\text{Gal} / \text{Bbls}]} \dots\dots\dots \text{Ecuación H- 10}$$

4. Cálculo de la tasa de Agua descartado por el equipo de control de sólidos: este cálculo se realizará para cualquier tipo de lodo de perforación, aun cuando sea 100% aceite, ya que esta agua podría provenir de la formación.

Del despeje de la ecuación G-1 y con el porcentaje de agua y de líquido obtenido en la retorta se tendrá que:

$$Vol_{.AGUA} = \frac{\dot{m}_{LIQUIDO}}{\dot{n}_{AGUA}} * \%Vol_{.AGUA \text{ RESP. AL LIQ.}} \dots\dots\dots \text{Ecuación H- 11}$$

$$Vol_{.AGUA} = \frac{\dot{m}_{LIQUIDO}}{8,33 * GE_{AGUA}} * \frac{\%Vol_{.AGUA}}{\%Vol_{.LIQUIDO}} \dots\dots\dots \text{Ecuación H- 12}$$

Donde:

- $Vol_{.AGUA}$  = Tasa de agua descartada [Gal/hr].
- $\%Vol_{.AGUA \text{ RESP. AL LIQ.}}$  = Fracción en volumen del aceite respecto al líquido obtenido en la retorta (Agua y Aceite).

Para calcular la tasa de agua descartado en Bbls por hora se dividirá entre 42 [Gal/Bbls], tal como se realizó en la ecuación H- 10.

5. Cálculo del flujo másico del densificante descartado por los equipos de control de sólidos:

De la ecuación G- 5 se despeja el porcentaje en volumen del densificante presente en los sólidos secos descartados:

$$r_{SÓL.SECOS.DESC} = \%Vol_{.DENSIFICANTE} * r_{DENSIFICANTE} + \%Vol_{.SOL. BG.} * r_{SOL. BG.} \dots\dots\dots \text{Ecuación H- 13}$$

$$\%Vol_{.DENSIFICANTE} = \frac{GE_{SOL.SECOS.DESC} - GE_{SOL.BG.}}{GE_{DENSIFICANTE} - GE_{SOL.BG.}} \dots\dots \text{Ecuación H- 14}$$

Donde:

- $\%Vol_{.DENSIFICANTE}$  = Fracción en volumen del densificante presente en los sólidos secos descartados [Fracción].

Luego la masa de densificante descartado será:

$$\dot{m}_{DENSIFICANTE\ DESCARTADO} = \%Vol_{.DENSIFICANTE} * \dot{m}_{SÓL.SECOS.DESC} \quad \text{Ecuación H. 15}$$

Donde:

$$\dot{m}_{DENSIFICANTE\ DESCARTADO} = \text{Flujo másico del densificante descartados [lb/hr].}$$

**PROGRAMA EN PORCENTAJE EN PESO:**

Para realizar los siguientes cálculos se requiere como dato la masa de aceite del método de porcentaje en peso.

1. Cálculo de la masa de agua presente en la muestra:

$$m_{AGUA.\ MUESTRA} = m_{LIQ.\ MUESTRA} - m_{ACEITE.\ MUESTRA} \quad \text{..... Ecuación H. 16}$$

Donde:

$$m_{AGUA.\ MUESTRA} = \text{Masa de agua presente en la muestra [gramos].}$$

$$m_{ACEITE.\ MUESTRA} = \text{Masa de aceite presente en la muestra [gramos].}$$

2. Cálculo de la Gravedad especifica del líquido:

De la ecuación G- 28 se tiene:

$$\frac{1}{r_{LIQUIDO}} = \frac{m_{AGUA}}{m_{LIQUIDO} * r_{AGUA}} + \frac{m_{ACEITE}}{m_{LIQUIDO} * r_{ACEITE}} \quad \text{..... Ecuación H. 17}$$

Conociendo H- 3 y sustituyendo nos queda que gravedad específica del líquido será:

$$GE_{LIQUIDO} = \frac{1}{\left( \frac{\% m_{AGUA.RESP.LIQ.}}{GE_{AGUA}} + \frac{\% m_{ACEITE.RESP.LIQ.}}{GE_{ACEITE}} \right)} \quad \text{..Ecuación H. 18}$$

Donde:

- $\% m_{AGUA.RESP.LIQ.}$  = Fracción másica de agua respecto al líquido [fracción].
- $\% m_{ACEITE.RESP.LIQ.}$  = Fracción másica de aceite respecto al líquido [fracción].
- $GE_{LIQUIDO}$  = Gravedad específica del líquido [Adimensional].
- $GE_{AGUA}$  = Gravedad específica del Agua = 1 [Adimensional].
- $GE_{ACEITE}$  = Gravedad específica del Aceite =  $GE_{BASE}$  cuando la base es aceite [Adimensional].

3. Cálculo de la tasa de Aceite descartado por el equipo de control de sólidos: este calculo se realiza cuando el lodo de perforación tiene en su fase liquido la presencia de un fluido base aceite, por ejemplo en emulsiones normales e inversas o en lodos 100% aceite:

$$\dot{m}_{ACEITE.DESC} = \% m_{ACEITE.RESP.LIQ.} * \dot{m}_{LIQ.DESC} \quad \text{.... Ecuación H. 19}$$

Despejando la ecuación G-1, y con el valor obtenido de la ecuación anterior, se tendrá que la tasa de aceite descartado será:

$$\dot{Vol}_{ACEITE} = \frac{\dot{m}_{ACEITE.DESC}}{8,33 * GE_{ACEITE}} \quad \text{..... Ecuación H. 20}$$

Donde:

$$\dot{Vol}_{ACEITE} = \text{Tasa de aceite descartados [Gal/hr].}$$

Para calcular la tasa de aceite descartado en Bbls/hr se dividirá entre 42 [Gal/Bbls], tal como se realizó en la ecuación H- 10.

4. Cálculo de la tasa de Agua descartado por el equipo de control de sólidos: este calculo se realizará para cualquier tipo de lodo de perforación, aun cuando sea 100% aceite, ya que esta agua podría provenir de la formación.

$$\dot{m}_{AGUA.DESC} = \% m_{AGUA.RESP.LIQ.} * \dot{m}_{LIQ.DESC} \dots \text{Ecuación H. 21}$$

Despejando la ecuación G-1, y con el valor obtenido de la ecuación anterior, se tendrá que la tasa de aceite descartado será:

$$\dot{Vol}_{AGUA} = \frac{\dot{m}_{AGUA.DESC}}{8,33 * GE_{AGUA}} \dots \text{Ecuación H. 22}$$

Donde:

$$\dot{Vol}_{AGUA} = \text{Tasa de agua descartadas [Gal/hr].}$$

Para calcular la tasa de agua descartado en Bbls/hr se dividirá entre 42 [Gal/Bbls], tal como se realizó en la ecuación H- 10.



# APÉNDICE I

## DEDUCCIÓN DE LAS ECUACIONES DEL NUEVO MÉTODO DE EVALUACIÓN

La deducción de las ecuaciones se realizó basándose en las 3 definiciones básicas utilizadas para la deducción de las ecuaciones de porcentaje en volumen y peso del **Apéndice G**.

1. Definición de la densidad:

$$\boxed{r = \frac{m}{Vol.}} \dots\dots\dots \text{Ecuación G-1}$$

2. Calculo de la densidad de una mezcla, a través de la ponderación másica:

$$\boxed{r_{MEZCLA} = \%Vol_{.SÓLIDO} * r_{SÓLIDOS} + \%Vol_{.LIQUIDO} * r_{LIQUIDO}} \dots \text{Ecuación G-4}$$

3. Calculo de la densidad de una mezcla, a través de la ponderación volumétrica:

$$\boxed{\frac{1}{r_{MEZCLA}} = \frac{\%m_{SÓLIDO}}{r_{SÓLIDOS}} + \frac{\%m_{LIQUIDO}}{r_{LIQUIDO}}} \dots\dots\dots \text{Ecuación G-16}$$

A continuación se explica paso a paso la deducción de las ecuaciones para el cálculo de la eficiencia global del sistema de control de sólidos sin tomar en cuenta el tiempo de toma de muestra.

- **ESTUDIO COMPLETO DEL SISTEMA:** Se realizó primero un estudio del flujo másico de salida, entrada y descarga del pozo, para determinar el flujo de masa que se desvía por la descarga y por la entrada del pozo.

1. Cálculo de la fracción en peso de la descarga del sistema de control de sólidos:

Para realizar este cálculo se utilizó la ecuación G-38, pero para las densidades de la salida, entrada y descarga del pozo, tal como se muestra a continuación:

$$\%m_{DESCARPOZO} = \frac{\left( \frac{1}{r_{SALIDPOZO}} - \frac{1}{r_{ENTRADPOZO}} \right)}{\left( \frac{1}{r_{DESCARPOZO}} - \frac{1}{r_{ENTRADPOZO}} \right)} \dots\dots \text{Ecuación I. 1}$$

Donde:

- $r_{SALID.POZO}$  = Densidad del lodo a la salida del pozo [lpg].
- $r_{ENTRAD.POZO}$  = Densidad del lodo a la entrada del pozo [lpg].
- $r_{DESCARPOZO}$  = Densidad del lodo a la descarga del pozo [lpg].
- $\%m_{DESCAR.POZO}$  = fracción en peso de la descarga del pozo [fracción].

2. Cálculo de la fracción en peso de la entrada al pozo:

$$\%m_{ENTRADPOZO} = 1 - \%m_{DESCARPOZO} \dots\dots\dots \text{Ecuación I. 2}$$

Donde:

- $\%m_{ENTRAD.POZO}$  = fracción en peso de la entrada al pozo [fracción].

3. Cálculo del flujo másico a la salida del pozo:

$$\dot{m}_{SALIDPOZO} = GPM * r_{SALIDPOZO} \dots\dots\dots \text{Ecuación I. 3}$$

Donde:

$GPM$  = galones por minuto a la salida del pozo [gpm].

$\dot{m}_{SALID.POZO}$  = Flujo másico a la salida del pozo [lb/min].

4. Cálculo del flujo másico a la descarga del sistema de control de sólidos:

$$\dot{m}_{DESCARPOZO} = \%m_{DESCARPOZO} * \dot{m}_{SALIDPOZO} \dots\dots\dots \text{Ecuación I. 4}$$

Donde:

$\dot{m}_{DESCAR.POZO}$  = Flujo másico a la descarga del sistema [lb/min].

5. Cálculo del flujo másico a la entrada del pozo:

$$\dot{m}_{ENTRADPOZO} = \%m_{ENTRADPOZO} * \dot{m}_{SALIDPOZO} \dots\dots\dots \text{Ecuación I. 5}$$

Donde:

$\dot{m}_{SETRAD.POZO}$  = Flujo másico a la entrada del pozo [lb/min].

6. Cálculo de la tasa a la descarga del sistema de control de sólidos:

$$\dot{Vol}_{DESCARPOZO} = \frac{\dot{m}_{DESCARPOZO}}{r_{DESCARPOZO}} \dots\dots\dots \text{Ecuación I. 6}$$

Donde:

$\dot{Vol}_{DESCAR.POZO}$  = Tasa a la descarga del sistema [gpm].

7. Cálculo de la tasa a la entrada del pozo:

$$\dot{Vol}_{ENTRADPOZO} = \frac{\dot{m}_{ENTRADPOZO}}{r_{ENTRADPOZO}} \quad \dots\dots\dots \text{Ecuación I. 7}$$

Donde:

$$\dot{Vol}_{ENTRADPOZO} = \text{Tasa a la entrada del pozo [gpm].}$$

Luego de conocer la distribución del flujo másico y de la tasa a la descarga y entrada del pozo, se realizó un estudio detallado en la descarga y la salida del pozo.

- **ESTUDIO ESPECIFICO DE LA SALIDA Y DESCARGA:** Se realizó un estudio detallado de los diferentes tipos de sólidos y líquidos a la salida del pozo y a la descarga del sistema.

#### DESCARGA:

1. Cálculo de la gravedad específica del líquido descargado:

Para este cálculo se utilizó la ecuación H-6. con los datos de retorta a la descarga.

2. Cálculo de la gravedad específica de los sólidos secos sin sales descargados:

Para este cálculo se utilizó la ecuación G-17, pero sustituyendo la fracción en volumen de los sólidos secos por la fracción en volumen de sólidos secos sin sales presentada en el fundamento teórico (Ecuación N° 2.1.7) .

3. Cálculo de la gravedad específica de los sólidos secos descargados:

Para este cálculo se utilizó la ecuación G-17.

4. Cálculo del flujo másico de los sólidos secos a la descarga:

Para este cálculo se utilizó la ecuación G-12 y se sustituyo el volumen de toma de muestra por la tasa de descarga de la ecuación I-6, y se obtuvo como resultado:

$$\dot{m}_{SÓLSECODESC} = (r_{SÓLHUMDESC} - \%Vol_{LIQ} * r_{LIQ}) * \dot{Vol}_{DESCARPOZO} \dots \text{Ecuación I- 8}$$

5. Cálculo del flujo másico de las sales a la descarga:

Para este cálculo se utilizó la siguiente ecuación:

$$\dot{m}_{SALES.DESC} = \dot{m}_{SÓL.SECOS.DESC} * \left[ \%Vol_{AGUA} * \left( \frac{C_{CLORURO}}{1680000 - 121 * C_{CLORURO}} \right) \right]$$

..... Ecuación I- 9

Donde:

$C_{CLORURO}$  = Concentración de cloruro en la descarga [mg/l].

$\dot{m}_{SALES.DESC}$  = Fujo másico de las sales a la descarga [lb/min].

6. Cálculo de los sólidos secos sin sales a la descarga:

Para este cálculo se utiliza la concentración de cloruro en la descarga y la siguiente ecuación:

$$\dot{m}_{SÓL..SECOS..SIN.SALES.DESC} = \dot{m}_{SÓL..SECOS..DESC} - \dot{m}_{.SALES.DESC}$$

.....Ecuación I- 10

7. Cálculo del flujo másico de densificante a la descarga:

7.1. Si el densificante era carbonato se debió tener el porcentaje en volumen de CaCO3 presente en la muestra sin sales tomada en la descarga, para este cálculo se utilizó la siguiente ecuación:

$$\dot{m}_{DENSIF .DESCAR} = \% Vol .CaCO_3 * m_{SÓL .SECOS .SIN .SALES .DESC}$$

.....Ecuación I- 11

Donde:

$\%Vol .CaCO_3$  = fracción de carbonato con respecto a los sólidos secos sin sales presente en una muestra [fracción].

7.2. Si el densificante no era carbonato, se utilizó para este cálculo la ecuación H-14 y H-15.

8. Cálculo del flujo másico de los sólidos de baja gravedad a la descarga:

8.1. Si el densificante era carbonato, se utilizó la siguiente ecuación:

$$\dot{m}_{SÓL .BG .DESC} = \dot{m}_{SÓL .SECOS .SIN .SALES .DESC}$$

..... Ecuación I- 12

8.2. Si el densificante no era carbonato, se utilizó la siguiente ecuación:

$$\dot{m}_{SÓL .BG .DESC} = \dot{m}_{SÓL .SECOS .SIN .SALES .DESC} - \dot{m}_{DENSIF .DESCAR}$$

.. Ecuación I- 13

9. Cálculo del flujo másico de los aditivos de baja gravedad junto con sólidos de perforación a la descarga:

9.1. Si el densificante era carbonato, se utilizó la siguiente ecuación:

$$\dot{m}_{ADIT.BG.Y.SÓLPERFEDESC} = \dot{m}_{SÓL.BG.DESC} - \dot{m}_{CaCO_3} \dots\dots\dots \text{Ecuación I- 14}$$

9.2. Si el densificante no era carbonato, se utilizó la siguiente ecuación:

$$\dot{m}_{ADIT.BG.Y.SÓLPERFEDESC} = \dot{m}_{SÓL.BG.DESC} \dots\dots\dots \text{Ecuación I- 15}$$

10. Cálculo del flujo másico de los aditivos de baja gravedad a la descarga:

Para realizar este calculo se debe tener el porcentaje de aditivos de baja gravedad que no sean densificante ni sólidos de perforación en la muestra de sólidos sin sales tomada en la descarga.

10.1. Si el densificante era carbonato, la suma de la fracción de carbonato, de aditivos de baja gravedad y de los sólidos de perforación serán iguales a 1. Y el flujo másico será:

$$\dot{m}_{ADIT.BG.DESC} = \%Vol_{ADIT.BG.} * m_{SÓLSECOSSIN.SALEDESC} \dots\dots \text{Ecuación I- 16}$$

10.2. Si el densificante no era carbonato, la suma de la fracción de aditivos de baja gravedad, del densificante y de los sólidos de perforación serán iguales a 1. Y el flujo másico de aditivos de baja gravedad será:

$$\dot{m}_{ADIT.BG.DESC} = \%Vol_{ADIT.BG.} * m_{SÓLSECOSSIN.SALEDESC} \dots\dots\dots \text{Ecuación I- 17}$$

11. Cálculo del flujo másico de los sólidos de perforación a la descarga:

Para este calculo se podrá utilizar las siguientes formulas:

$$\dot{m}_{SÓLPERFDESC} = m_{SÓLSECOSSIN.SALEDESC} - \dot{m}_{ADIT.BG.DESC} - \dot{m}_{DENSFDESC} \dots\dots\dots \text{Ecuación I- 18}$$

$$\dot{m}_{SÓLPERFDESC} = (1 - \%Vol_{ADIT.BG.} - \%Vol_{DENSIF}) * m_{SÓLSECOSSIN.SALEDESC} . \text{Ecuación I- 19}$$

12. Cálculo del flujo másico del líquido a la descarga:

Para realizar este cálculo se utilizó la ecuación G-14

13. Cálculo de la tasa del líquido a la descarga:

Para realizar este cálculo se utilizó la ecuación G-32, pero con la gravedad especifica del líquido y no el del fluido base.

14. Cálculo de la tasa de aceite a la descarga:

Para realizar este cálculo se utilizó la ecuación H- 10.

15. Cálculo de la tasa de agua a la descarga:

Para realizar este cálculo se utilizó la ecuación H- 12.

16. Cálculo del porcentaje de aditivos de baja gravedad a la descarga:

Para realizar este cálculo se utilizó la ecuación:



$$\% m_{ADIT .BG .DESC .SCS} = \frac{\dot{m}_{ADIT .BG .DESC}}{\dot{m}_{DESCARGA}} * 100 \quad \text{..... Ecuación I- 20}$$

17. Cálculo del porcentaje de densificante a la descarga:

Para realizar este cálculo se utilizó la ecuación:

$$\% m_{DENSIF .SCS} = \frac{\dot{m}_{DENSIF .DESC}}{\dot{m}_{DESCARGA}} * 100 \quad \text{..... Ecuación I- 21}$$

18. Cálculo de la tasa de líquido a la descarga:

Para realizar este cálculo se utilizó la ecuación:

$$\% Vol_{LIQ .SCS} = \frac{\dot{Vol}_{LIQ .DESC}}{\dot{Vol}_{DESCARGA}} * 100 \quad \text{..... Ecuación I- 22}$$

19. Cálculo de la tasa de aceite a la descarga:

Para realizar este cálculo se utilizó la ecuación:

$$\% Vol_{ACEITE .SCS} = \frac{\dot{Vol}_{ACEITE .DESC}}{\dot{Vol}_{DESCARGA}} * 100 \quad \text{..... Ecuación I- 23}$$

20. Cálculo de la tasa de agua a la descarga:

Para realizar este cálculo se utilizó la ecuación:

$$\% Vol. AGUA ..SCS = \frac{\dot{Vol}. AGUA .DESC}{\dot{Vol}. DESCARGA} * 100 \dots\dots\dots \text{Ecuación I- 24}$$

21. Cálculo del flujo másico de los sólidos de perforación a la descarga:

Para realizar este cálculo se utilizó la ecuación:

$$\% m_{SÓL .PERF ..SCS} = \frac{\dot{m}_{SÓL .PERF .DESC}}{\dot{m}_{DESCARGA}} * 100 \dots\dots\dots \text{Ecuación I- 25}$$

**SALIDA:**

Los cálculos a la salida del pozo son iguales, por esa razón no se presentará las ecuaciones.

- **ESTUDIO DE LA RESCONSTRUCCIÓN DE LA ENTRADA AL POZO:** Se realizó una reconstrucción minuciosa de los diferentes tipos de sólidos y líquidos a la entrada del pozo.

1. Cálculo del flujo másico de los sólidos secos a la entrada:

Para este cálculo se utilizó la siguiente ecuación:

$$\dot{m}_{SÓL.SECOS.ENTRAD} = \dot{m}_{SÓL.SECOS.SALD.} - \dot{m}_{SÓL.SECOS.DESC} \dots\dots\dots \text{Ecuación I- 26}$$

2. Cálculo del flujo másico de los sólidos secos sin sales a la entrada:

Para este cálculo se utilizó la siguiente ecuación:

$$\dot{m}_{SÓL.SECOS.SIN.SALES.ENTRAD} = \dot{m}_{SÓL.SECOS.SIN.SALES.SALD.} - \dot{m}_{SÓL.SECOS.SIN.SALES.DESC}$$

.....Ecuación I- 27

3. Cálculo del flujo másico de densificante a la entrada:

Para este cálculo se utilizó la siguiente ecuación:

$$\dot{m}_{DENSIF.ENTRAD} = \dot{m}_{DENSIF.SALD.} - \dot{m}_{DENSIF.DESC}$$

.....Ecuación I- 28

4. Cálculo del flujo másico de los sólidos de baja gravedad a la entrada:

Para este cálculo se utilizó la siguiente ecuación:

$$\dot{m}_{SÓL..BG.ENTRAD} = \dot{m}_{SÓL..BG.SALD.} - \dot{m}_{SÓL..BG.DESC}$$

.....Ecuación I- 29

5. Cálculo del flujo másico de los aditivos de baja gravedad junto con sólidos de perforación a la entrada:

Para este cálculo se utilizó la siguiente ecuación:

$$\dot{m}_{ADIT..BG..Y..SÓL.PERF.ENTRAD} = \dot{m}_{ADIT..BG..Y..SÓL.PERF.SALD.} - \dot{m}_{ADIT..BG..Y..SÓL.PERF.DESC}$$

.....Ecuación I- 30

6. Cálculo del flujo másico de los sólidos de perforación a la entrada:

Para este cálculo se utilizó la siguiente ecuación:

$$\dot{m}_{SÓL.PERF.ENTRAD} = \dot{m}_{SÓL.PERF.SALD.} - \dot{m}_{SÓL.PERF.DESC} \dots\dots\text{Ecuación I- 31}$$

7. Cálculo del flujo másico de los aditivos de baja gravedad a la entrada:

Para este cálculo se utilizó la siguiente ecuación:

$$\dot{m}_{ADIT..BG..ENTRAD} = \dot{m}_{ADIT..BG..SALD.} - \dot{m}_{ADIT..BG..DESC} \dots\dots\text{Ecuación I- 32}$$

8. Cálculo del flujo másico del líquido a la entrada:

Para realizar este cálculo se utilizó la siguiente ecuación:

$$\dot{m}_{LIQ.ENTRAD} = \dot{m}_{LIQ.SALD.} - \dot{m}_{LIQ.DESC} \dots\dots\dots\text{Ecuación I- 33}$$

9. Cálculo de la tasa del líquido a la entrada:

Para realizar este cálculo se utilizó la siguiente ecuación:

$$\dot{Vol}_{LIQ.ENTRAD} = \dot{Vol}_{LIQ.SALD.} - \dot{Vol}_{LIQ.DESC} \dots\dots\dots\text{Ecuación I- 34}$$

10. Cálculo de la tasa de aceite a la entrada:

Para realizar este cálculo se utilizó la siguiente ecuación:

$$\dot{Vol}_{ACEITE.ENTRAD} = \dot{Vol}_{ACEITE.SALD.} - \dot{Vol}_{ACEITE.DESC} \dots\dots\dots \text{Ecuación I- 35}$$

11. Cálculo de la tasa de agua a la entrada:

Para realizar este cálculo se utilizó la siguiente ecuación:

$$\dot{Vol}_{AGUA.ENTRAD} = \dot{Vol}_{AGUA.SALD.} - \dot{Vol}_{AGUA.DESC} \dots\dots\dots \text{Ecuación I- 36}$$

12. Cálculo de la gravedad especifica del líquido a la entrada:

Para este cálculo se utilizó la ecuación H-6 con los datos de retorta a la entrada.

13. Cálculo de la gravedad especifica de los sólidos secos a la entrada:

Para este cálculo se utilizó la siguiente ecuación:

$$GE_{SOL.SECOS.ENTRAD} = \left[ \frac{\dot{m}_{DENSIF.ENTRAD}}{\dot{m}_{SOL.SECOS.ENTRAD}} * (GE_{DENSIF.} - GE_{SOL.PERF.}) \right] + GE_{SOL.PERF.}$$

..... Ecuación I- 37

14. Cálculo de la densidad de los sólidos húmedos a la entrada:

Para este cálculo se utilizó la siguiente ecuación:

$$r_{SOLHUM.DESC} = (GE_{SOL.SECOS.ENTRAD} * 8.33 * \%Vol_{.SÓL.ENTRAD}) + (GE_{LIQ.ENTRAD} * 8.33 * \%Vol_{.LIQ.ENTRAD})$$

.....Ecuación I- 38

Finalmente el cálculo de los porcentajes es igual al utilizado en el estudio de la descarga y salida del pozo.

- **EFICIENCIA DEL SISTEMA DE CONTROL DE SÓLIDOS:** a continuación se presentarán las ecuaciones utilizadas para determinar la nueva eficiencia del sistema de control de sólidos.

1. Cálculo de la eficiencia:

$$Ef_{SCS} = \frac{\dot{m}_{SÓL.PERF.DESC}}{\dot{m}_{SÓL.PERF.SALD}} * 100 \dots\dots\dots \text{Ecuación I- 39}$$

2. Cálculo del porcentaje en peso de Aditivos descartados por el sistema:

$$\% m_{ADITIVOS} = \frac{\dot{m}_{ADITIVOS.DESC}}{\dot{m}_{ADITIVOS.SALID}} * 100 \dots\dots\dots \text{Ecuación I- 40}$$

3. Cálculo del porcentaje de en peso densificante descartado por el sistema:

$$\% m_{SÓL.ALTA.GRAV} = \frac{\dot{m}_{SÓL.ALTA.GRAV.DESC}}{\dot{m}_{SÓL.ALTA.GRAV.SALID}} * 100 \dots\dots \text{Ecuación I- 41}$$

4. Cálculo del porcentaje en volumen del líquido descartado por el sistema:

$$\%Vol_{.SCS} = \frac{Vol_{.LIQ.DESC}}{Vol_{.LIQ.SALID}} * 100$$

..... Ecuación I- 42

## APÉNDICE J

### MANUAL DE USO DEL PROGRAMA REFORMADO PARA EL CÁLCULO DE LA EFICIENCIA TOMANDO EN CUENTA EL TIEMPO DE TOMA DE MUESTRA

Para la elaboración del presente programa se utilizó como herramienta de trabajo el programa Excel de Microsoft Office, el cual es una potente herramienta para analizar y procesar información, a través de hojas de cálculos que trabajan con aplicaciones macros, permitiendo la iteración con programas como Visual Basic.

Las ecuaciones utilizadas en este programa fueron las deducidas en el Apéndice G y H, y las mismas son aplicadas a datos obtenidos tanto en la descarga como en la salida del pozo. El nuevo concepto de eficiencia es introducido en este programa, por lo que se comparan los sólidos de baja gravedad a la descarga con los de la salida del pozo.

Para compenetrar más al usuario con el manejo del programa, se presenta a continuación los pasos que deberá seguir para poder introducir los datos y luego para ver los resultados arrojados por el programa.

#### INTRODUCCIÓN DE DATOS

El programa presenta varias pestañas, en donde cada una representa una función específica. En la Figura J- 1 se ilustran las pestañas de datos y la de resultados de porcentaje en volumen. Para esta sección se seleccionara la pestaña **“Datos para calcular Eficiencia”**.

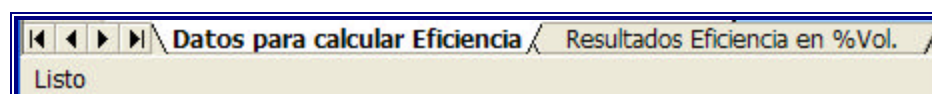


FIGURA N° J- 1: Pestañas de Datos y Resultados



Al seleccionar la pestaña se abrirá la siguiente ventana:

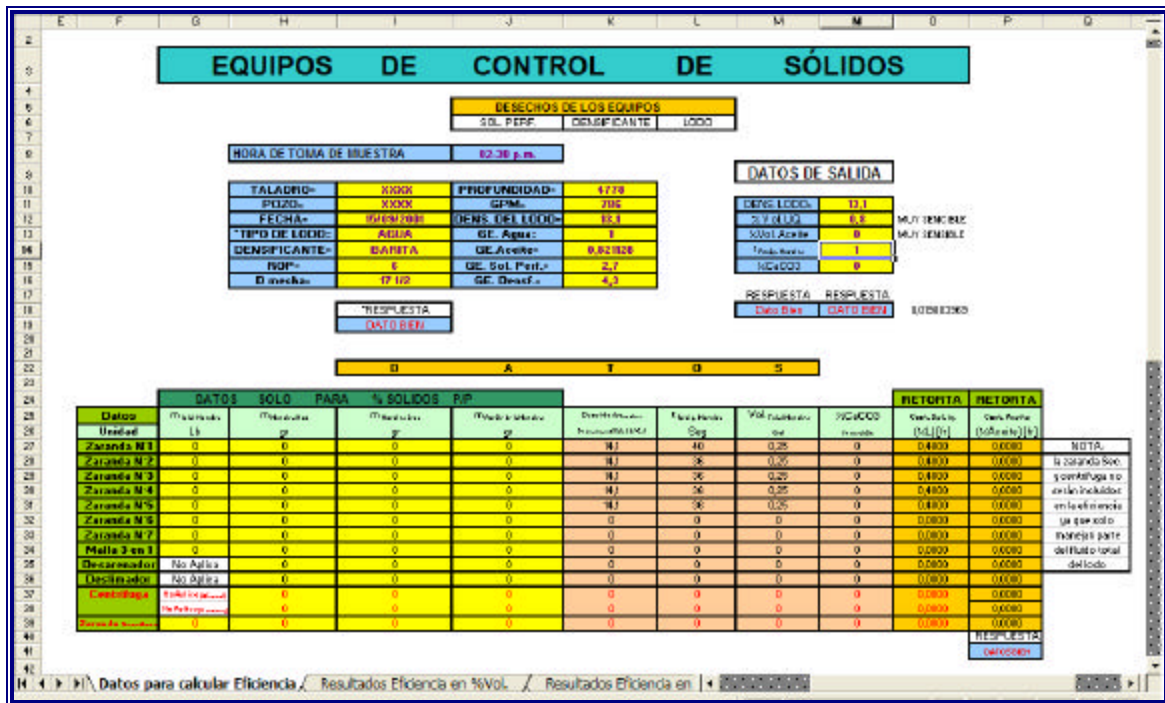


FIGURA N° J- 2: Ventana de Introducción de Datos

Luego se deberá introducir en los recuadros Amarillos, los datos de las características del taladro y el fluido de perforación, así como las gravedades específicas de cada componente, tal como se muestra en la Figura N° J- 3.



FIGURA N° J- 3: Primeros Datos a Introducir

A continuación se explicará el significado de los datos introducidos en cada casilla:

- **Hora de toma de muestra:** se coloca la hora a la cual fueron tomadas las muestras de salida y descarga.
- **Taladro:** se coloca el nombre del taladro donde se toma la muestra.
- **Pozo:** se coloca el nombre del pozo perforado por el taladro.
- **Fecha:** se coloca el día, mes y año de la toma de la muestra.
- **Tipo de lodo:** se coloca el nombre del tipo del lodo que se este utilizando para perforar. Ej: semidisperso, aceite, agua, etc.

**Nota:** Esta casilla posee un condicional, el cual se activará cuando coloque los datos de retorta a la descarga ó salida, los cuales se introducen más adelante. En la Figura J- 4, se observa el condicional primero indicando que el dato de tipo de lodo es correcto y segundo cuando el dato es incorrecto. Cuando se da la señal de incorrecto, es debido a que se introdujo como tipo de lodo un base agua y en las retorta de salida o descarga se reportó aceite; lo cual es imposible ya que no existe forma de explicar de donde proviene el aceite. Para corregir este error se deberá verificar que el tipo de lodo sea una emulsión y colocar en la casilla de tipo de lodo “Emulsión”.

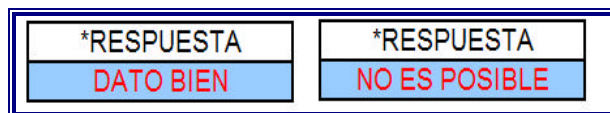


FIGURA N° J- 4: Condicional Indicando Dato Correcto y Dato Incorrecto

- **Densificante:** se coloca que tipo de densificante se esta utilizando para darle peso al lodo. Por ejemplo: Carbonato, Barita ò Hematina.

- **ROP:** se coloca el valor de la tasa de penetración del taladro al momento de tomar la muestra, Pies/hr.
- **D mecha:** se coloca el valor del diámetro de la mecha con la cual se esta perforando al momento de tomar la muestra, pulg.
- **Profundidad:** se coloca la profundidad a la cual se esta perforando, al momento de tomar la muestra, Pies.
- **GPM:** se coloca el valor de los galones de salida del pozo al momento de tomar la muestra, gpm.
- **Dens. del lodo:** se coloca el valor de densidad del lodo, con el cual se desea entrar al pozo, lpg.
- **GE agua:** se coloca el valor de la gravedad específica del agua presente en el fluido de perforación.
- **GE aceite:** se coloca el valor de gravedad específica del aceite presente en el lodo de perforación.
- **GE sol. perf.:** se coloca el valor aproximado de la gravedad específica de los sólidos provenientes de la formación.
- **GE densf:** se coloca el valor de la gravedad específica del densificante utilizado en el lodo de perforación para el momento en que se toma la muestra.

Posteriormente se deberá introducir los valores del método que se desea utilizar en el formato mostrado en la Figura N° J- 5.

En dicho formato el usuario decide que método utilizar, por esa razón se presenta el procedimiento utilizado para introducir los datos en cada uno de los métodos.

O A T O S											
DATOS SOLO PARA % SOLIDOS P/P										RETORTA	
Datos	m total Muestra	m Muestra Hum	m Muestra Seca	m Aceite de la Muestra	Densidad Muestra	t Recip. Muestra	Vol. total Muestra	%CaCO3	Cont. De Liq.	Cont. Aceite	
Unidad	Lb	gr	gr	gr	Densidad (Lb/Gal)	Seg	Gal	fracción	(%L) [fr]	(%Aceite) [fr]	
Zaranda N°1	0	0	0	0	14,1	40	0,25	0	0,4000	0,0000	
Zaranda N°2	0	0	0	0	14,1	36	0,25	0	0,4000	0,0000	
Zaranda N°3	0	0	0	0	14,1	36	0,25	0	0,4000	0,0000	
Zaranda N°4	0	0	0	0	14,1	36	0,25	0	0,4000	0,0000	
Zaranda N°5	0	0	0	0	14,1	36	0,25	0	0,4000	0,0000	
Zaranda N°6	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0000	0,0000	
Zaranda N°7	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0000	0,0000	
Malla 3 en 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0000	0,0000	
Desarenador	No Aplica	0	0	0	0	0	0	0	0,0000	0,0000	
Deslimador	No Aplica	0	0	0	0	0	0	0	0,0000	0,0000	
Centrífuga	No Aplica (Muestra)	0	0	0	0	0	0	0	0,0000	0,0000	
	No Aplica (Desarenador)	0	0	0	0	0	0	0	0,0000	0,0000	
Zaranda 3 en 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0000	0,0000	

FIGURA N° J- 5: Segundos Datos a Introducir

**Método de porcentaje en volumen:**

Cuando se decide calcular la eficiencia con el procedimiento de porcentaje en volumen, se debe llenar las casillas de color carne ●, las cuales representan la densidad, tiempo, volumen y carbonato (si es el densificante utilizado) y las casillas de color cobre ●, las cuales representan la fracción en volumen de líquido y aceite presente en la muestra. Tal como se muestra en la Figura N° J- 5. Se colocan los valores de los equipos a evaluar, es decir, si el sistema esta compuesto por 3 zarandas y un 3 en 1, se debe rellenar las casillas pertenecientes a cada equipo.

A continuación se explica el significado de los datos a introducir en cada casilla:

- **Densidad:** se coloca el valor de la densidad de descarga del equipo, lpg.
- **t Recip. MUESTRA:** se coloca el valor del tiempo de toma de muestra, el cual representa el tiempo en que se tarda la persona en tomar dicha muestra, segundos.

- **Vol. Total MUESTRA:** se coloca el valor del volumen con el cual se toma la muestra.
- **% CaCO<sub>3</sub>:** se coloca cero “0” cuando el densificante es distinto de carbonato, sino se coloca el valor de la fracción de carbonato presente en la muestra seca.
- **%L:** se coloca el valor de la fracción de líquido presente en la muestra húmeda tomada a la descarga del equipo.
- **%Aceite:** se coloca el valor de la fracción de líquido presente en la muestra húmeda tomada en la descarga del equipo.

**Nota:** en estas casillas existe un condicional, el cual emite una señal cuando la fracción de aceite reportada en la casilla, es mayor que la fracción de líquido, debido a que el máximo valor se alcanza cuando la fase continua sea 100% aceite (las fracciones serán iguales). En la Figura N° J- 6 se muestra el condicional primero avisando que los datos no presentan errores conceptuales y segundo cuando ocurre el error antes explicado.

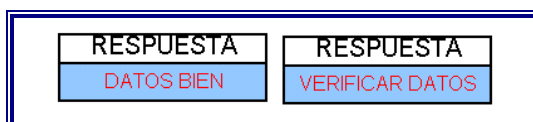




FIGURA N° J- 6: Condicionales

### Método de porcentaje en peso:

Cuando se decide calcular la eficiencia con el procedimiento de porcentaje en peso, se debe llenar de igual forma las casillas de color carne  , pero con la variante de que ahora se rellena las casillas de color amarillo  , las cuales representan la masa total de la muestra, la masa antes de secar y después de secar en la retorta, y la masa de aceite presente en la muestra. Tal como se muestra en la Figura J- 7.

A continuación se explica el significado de los datos a introducir en cada casilla:

- **m total Muestra:** se coloca el valor de la masa total recolectada en la descarga del equipo, libra.
- **m Muestra Hum:** se coloca el valor de la muestra antes de ser secada en la retorta, gramos.
- **m Muestra Seca:** se coloca el valor de la muestra después de ser secada en la retorta, gramos.
- **m Aceite de la Muestra:** se coloca el valor de masa de aceite presente en la muestra, el cual se debe calcular tal como se explico en el **Apéndice A**, gramos.

D A T O S											
Datos	DATOS SOLO PARA % SOLIDOS P/P				Densidad Muestra <small>Densidad (lb/gal)</small>	t Recip. Muestra <small>Seg</small>	Vol. Total Muestra <small>Gal</small>	%CaCO3 <small>fracción</small>	RETORTA		
	m total Muestra <small>Lb</small>	m Muestra Hum <small>gr</small>	m Muestra Seca <small>gr</small>	m Aceite de la Muestra <small>gr</small>					Cont. De Liq. <small>(%L) (fr)</small>	Cont. Aceite <small>(%Aceite) (fr)</small>	
Zaranda N°1	22	12	9	0	14,1	40	0,25	0	0,0000	0,0000	
Zaranda N°2	21	11	8	0	14,1	36	0,25	0	0,0000	0,0000	
Zaranda N°3	25	15	11	0	14,1	36	0,25	0	0,0000	0,0000	
Zaranda N°4	24	18	13	0	14,1	36	0,25	0	0,0000	0,0000	
Zaranda N°5	23	13	9	0	14,1	36	0,25	0	0,0000	0,0000	
Zaranda N°6	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0000	0,0000	
Zaranda N°7	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0000	0,0000	
Malla 3 en 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0000	0,0000	
Desarenador	No Aplica	0	0	0	0	0	0	0	0,0000	0,0000	
Deslimador	No Aplica	0	0	0	0	0	0	0	0,0000	0,0000	
Centrifuga	No Aplica (porcentaje)	0	0	0	0	0	0	0	0,0000	0,0000	
	No Aplica (porcentaje)	0	0	0	0	0	0	0	0,0000	0,0000	
Zaranda Secadora	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0000	0,0000	

RESPUESTA  
DATOS BIEN

FIGURA N° J- 7: Formato de Introducción de Datos para el Procedimiento en Peso.

Luego se deberá introducir en los recuadros Amarillos, los datos de porcentaje en volumen a la salida del pozo, el tiempo y la densidad, tal como se muestra en la Figura N° J- 8.

DATOS DE SALIDA	
DENS. LODO=	13,1
% Vol. LIQ.	0,8
%Vol. Aceite	0
t <sub>Recip. Muestra</sub>	1
%CaCO <sub>3</sub>	0
RESPUESTA	RESPUESTA
Dato Bien	DATO BIEN

FIGURA N° J- 8: Terceros Datos a Introducir, Cuando se Utiliza el Procedimiento en Volumen

A continuación se explica el significado de los datos a introducir en cada casilla:

- **Dens. Lodo:** se coloca el valor de la densidad a la salida del pozo, lpg.
- **%Vol. Liq.:** se coloca el valor de la fracción de líquido presente en la muestra húmeda a la salida del pozo.
- **%Vol. Aceite:** se coloca el valor de la fracción de aceite presente en la muestra húmeda a la salida del pozo.
- **t<sub>Recip. MUESTRA</sub>:** se coloca el valor del tiempo de toma de muestra, el cual representa el tiempo en que se tarda la persona en tomar la muestra a la salida, segundos.
- **% CaCO<sub>3</sub>:** se coloca cero “0” cuando el densificante es distinto de carbonato, sino se coloca el valor de la fracción de carbonato presente en la muestra seca a la salida del pozo.

**Nota:** en esta sección se presentan dos condicionales (ver Figura N° J- 9), los cuales indican lo siguiente:

1. El primer condicional indica que el valor de la densidad a la salida que se obtiene en los resultados de porcentaje en volumen es igual a cero, lo cual no puede ser posible si el lodo que se formula es densificado, por lo que la fracción de líquido ó el tiempo de toma de muestra no es el correcto.
  
2. El segundo condicional indica, cuando se obtienen resultados de sólidos descartados mayores que los que entran al equipo, lo cual es ilógico, ya que si el sistema es cerrado y no se introduce ningún sólido, por lo que no es posible descargar más sólidos de los que entran. Entonces el error puede estar en el tiempo de toma de muestra o en la fracción del líquido.

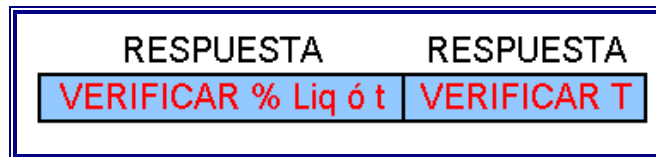


FIGURA N° J- 9: Condicionales a La Salida del Pozo

Una vez que el usuario termine de introducir los datos el programa le indicará si los datos introducidos son los correctos, a través del condicional mostrado en la Figura N° J- 10, indicando cuando se introducen datos en los dos procedimientos de cálculo (volumen y peso), lo cual no debería suceder si se conoce el procedimiento de introducción de datos. Pero por prevención, se le indica al usuario que verifique e introduzca valores para correr un procedimiento a la vez (segundo condicional).

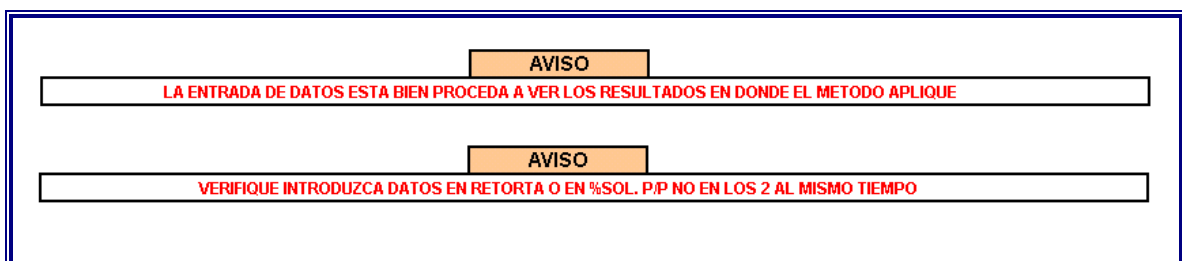


FIGURA N° J- 10: Condicionales Indicando Introducción de Datos Buenos de Introducción de Datos Malos



**RESULTADOS DEL PROGRAMA:**

1. Este programa realiza los cálculos de los flujos másicos a la descarga de cada equipo, para los procedimientos de porcentaje en peso y volumen. Y los mismos se presentan a continuación:

**Porcentaje en volumen:**

Para observar los resultados de porcentaje en volumen se selecciona la segunda pestañas “Resultados Eficiencia en %Vol.”, mostrada en la Figura J- 11.

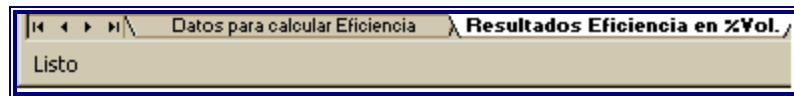


FIGURA N° J- 11: Pestaña de Resultados del Procedimiento en Volumen

Al seleccionar esta pestaña se abrirá la siguiente ventana (ver Figura N° J- 12 y N° J- 13):

Calculos	Contenido Liquido (%L)	Contenido de Sol. Secos (%S)	GE del Liquido GE Liq. (Adim)	Sol. Hum. Desc. Macrom. (Lb/H)	Sol. Secos Desc. Macrom. (Lb/H)	Masa Liquid Desc. Fluido Desc. (Lb/H)	Contenido de Aceite (%Aceite)	Contenido de Agua (%Agua)
Zaranda N°1	0.4000	0.6000	1	317.25	242.28	74.97	0.0000	0.4000
Zaranda N°2	0.4000	0.6000	1	352.50	269.20	83.30	0.0000	0.4000
Zaranda N°3	0.4000	0.6000	1	352.50	269.20	83.30	0.0000	0.4000
Zaranda N°4	0.4000	0.6000	1	352.50	269.20	83.30	0.0000	0.4000
Zaranda N°5	0.4000	0.6000	1	352.50	269.20	83.30	0.0000	0.4000
Zaranda N°6	0.0000	0.0000	0	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0000
Zaranda N°7	0.0000	0.0000	0	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0000
Malla 3 en 1	0.0000	0.0000	0	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0000
Desarenador	0.0000	0.0000	0	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0000
Deslimador	0.0000	0.0000	0	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0000
Centrifuga	0.0000	0.0000	0	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0000
<b>TOTALES</b>				<b>1727.25</b>	<b>1319.08</b>	<b>408.17</b>		

FIGURA N° J- 12: Primera Parte de los Resultados

	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
10	Contenido de Agua (%Agua)	Vol. Aceite Desc. (Bbls/Hr)	Vol. Agua Desc. (Bbls/Hr)	ASG (Adimens)	%Hemalta Desc. (Var Tabla (Fr))	% Borta Desc. (Var Tabla (Fr))	Hemalta Desc. (Lb/Hr)	Borta Desc. (Lb/Hr)	CaCO <sub>3</sub> Desc. (Lb/Hr)	Sólidos Ppt. Desc. (lb/1000 Bbls/Hr)
11	0.4000	0.00	9.00	2.1545	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	242.28
12	0.4000	0.00	10.00	2.1545	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	269.20
13	0.4000	0.00	10.00	2.1545	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	269.20
14	0.4000	0.00	10.00	2.1545	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	269.20
15	0.4000	0.00	10.00	2.1545	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	269.20
16	0.4000	0.00	10.00	2.1545	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	269.20
17	0.0000	0.00	0.00	0.0000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
18	0.0000	0.00	0.00	0.0000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
19	0.0000	0.00	0.00	0.0000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
20	0.0000	0.00	0.00	0.0000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
21	0.0000	0.00	0.00	0.0000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
22	0.0000	0.00	0.00	0.0000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
23	0.00	0.00	49.00				0.00	0.00	0.00	1319.08
24	0	1.1666667	RESPUESTA							
25	Bbls/Hr	Bbls/Hr	SIGA OTIMIZANDO RESULTADOS							

FIGURA N° J- 13: Segunda Parte de los Resultados

El significado de cada celda es detallado a continuación:

- **%L:** en esta casilla se muestra la fracción de líquido colocada en la ventana de introducción de datos (Ver Figura N° J- 14).

Contenido Líquido (%L)
0,4000
0,4000
0,4000
0,4000

FIGURA N° J- 14: Fracción de Líquido de la Retorta

- **%S:** en esta casilla se muestra la fracción de los sólidos presentes en la muestra (Ver Figura N° J- 15).

Contenido de Sol. Secos (%S)
0,6000
0,6000
0,6000
0,6000

FIGURA N° J- 15: Fracción de Sólidos de la Retorta

- **Ge Liq:** esta casilla se muestra la gravedad específica del líquido presente en la muestra (Ver Figura N° J- 16). Se utilizó la ecuación deducida del **Apéndice H**.

GE del Líquido GE Liq. (Adim)
1
1
1
1

FIGURA N° J- 16: Gravedad Específica del Líquido Presente en la Muestra

- **m Sol.Hum:** esta casilla muestra los sólidos húmedos descartados por cada equipo (Ver Figura N° J- 17). Se utilizó la ecuación del **Apéndice G**.

Sol. Hum. Desc. m <sub>Sol.Hum</sub> [Lb/Hr]
317,25
352,50
352,50
352,50

FIGURA N° J- 17: Flujo Másico de Sólidos Húmedos Presente en la Muestra

- **m Sol.Seco:** esta casilla muestra los sólidos secos descartados por cada equipo (Ver Figura N° J- 18). Se utilizó la ecuación del **Apéndice G**.

Sol. Secos Desc.
$m_{\text{Sol.Seco}}$ [Lb/Hr]
242,28
269,20
269,20
269,20

FIGURA N° J- 18: Flujo Másico de Sólidos Secos Presente en la Muestra

- **$m_{\text{Líquido Desc}}$** : esta casilla muestra el flujo másico del líquido descartados por cada equipo (Ver Figura N° J- 19). Se utilizó la ecuación del **Apéndice G**.

Masa Liquid Desc.
$m_{\text{Líquido Desc}}$ [Lb/Hr]
74,97
83,30
83,30
83,30

FIGURA N° J- 19: Flujo Másico del Líquido Presente en la Muestra

- **%Aceite**: esta casilla muestra la fracción de aceite contenido colocado en la ventana de introducción de datos (Ver Figura N° J- 20).

Contenido de Aceite (%Aceite)
0,0000
0,0000
0,0000
0,0000

FIGURA N° J- 20: Fracción Aceite Presente en la Muestra

- **%Agua**: en esta casilla se muestra la fracción de agua presentes en la muestra (Ver Figura N° J- 21). Se utilizó la ecuación del **Apéndice H**.

Contenido de Agua (%Agua)
0,4000
0,4000
0,4000
0,4000

FIGURA N° J- 21: Fracción Agua Presente en la Muestra

- **Vol. Aceite Desc:** esta casilla muestra la tasa de aceite descartados por cada equipo (Ver Figura N° J- 22). Se utilizó la ecuación del **Apéndice H**.

Vol. Aceite Desc.
Vol. Aceite Desc [Gal/Hr]
0,00
0,00
0,00
0,00

FIGURA N° J- 22: Tasa de Aceite Descartado por Cada Equipo

- **Vol. Agua Desc:** esta casilla muestra la tasa de agua descartados por cada equipo (Ver Figura N° J- 23). Se utilizó la ecuación del **Apéndice H**.

Vol. Agua Desc.
Vol. Agua Desc [Gal/Hr]
9,00
10,00
10,00
10,00

FIGURA N° J- 23: Tasa de Aceite Descartado Por Cada Equipo

- **ASG:** esta casilla muestra la gravedad específica promedio de los sólidos secos presentes en la muestra (Ver Figura N° J- 24). Se utilizó la ecuación del **Apéndice H**.

ASG
[Adimens]
2,1545
2,1545
2,1545
2,1545

FIGURA N° J- 24: Gravedad Específica de los Sólidos Secos a la Descarga

- **%Hematita Desc y Hematina Desc:** estas casillas muestra la fracción y la hematina descartado por cada equipo (Ver Figura J- 25). Se utilizaron las ecuaciones del **Apéndice H**.

% Hematita Desc. Ver Tabla [Fr]	Hematita Desc. [Lb/Hr]
0,000	0,00
0,000	0,00
0,000	0,00
0,000	0,00

FIGURA N° J- 25: Fracción Y Hematita Descargada

- **%Barita Desc y Barita Desc:** estas casillas muestra la fracción y la barita descartado por cada equipo (Ver Figura J- 26). Se utilizaron las ecuaciones del **Apéndice H**.

% Barita Desc. Ver Tabla [Fr]	Barita Desc. [Lb/Hr]
0,000	0,00
0,000	0,00
0,000	0,00
0,000	0,00

FIGURA N° J- 26: Fracción y Barita Descartada

- **CaCO<sub>3</sub> Desc:** estas casillas muestra la cantidad de carbonato descartado por cada equipo (Ver Figura J- 26). Se utilizaron las ecuaciones del **Apéndice I**.

CaCO <sub>3</sub> Desc. [Lb/Hr]
0,00
0,00
0,00
0,00

FIGURA N° J- 27: Carbonato Descartado

- **m Sol. Perf. Desc:** esta casilla muestra los sólidos de baja gravedad descartados por cada equipo (Ver Figura N° J- 28). Se utilizó la ecuación del **Apéndice I**.

Sol.De Perf. Desc m <sub>Sol.Perf.Des</sub> [Lb/Hr]
242,28
269,20
269,20
269,20

FIGURA N° J- 28: Flujo Másico de los Sólidos de Baja Gravedad Descargados

### Método de porcentaje en peso:

Para observar los resultados de porcentaje en peso se selecciona la tercera pestañas “**Resultados Eficiencia en %Peso**”. Al seleccionar esta pestaña se abrirá la siguiente ventana (ver Figura N° J- 29 y N° J- 30):

D	E	F	G	H	I	J	K	L
	RESPUESTA=		APLICA ESTE METODO					
	x	x	x	x	x	x	x	x
<b>Calculos</b>	Contenido de Sol. Secos	Contenido Liquido	GE del Liquido	Sol. Hum. Desc.	Sol. Secos Desc.	Masa Liquid Desc.	Contenido de Aceite	Contenido de Agua
<b>Unidad</b>	(%m <sub>solidos secos</sub> )	(%m <sub>Liquido</sub> )	GE Liq. (Adim)	m <sub>Sol.hum</sub> [Lb/Hr]	m <sub>Sol.seco</sub> [Lb/Hr]	m <sub>Liquido Desc</sub> [Lb/Hr]	(%m <sub>Aceite</sub> )	(%m <sub>Agua</sub> )
Zaranda N°1	0,7273	0,2727	0,932303304	1890,00	1374,55	515,45	0,0909	0,1818
Zaranda N°2	0,3333	0,6667	0,958251488	1800,00	600,00	1200,00	0,1333	0,5333
Zaranda N°3	0,3529	0,6471	0,943921554	1700,00	600,00	1100,00	0,1765	0,4706
Zaranda N°4	0,3077	0,6923	0,976367891	1600,00	492,31	1107,69	0,0769	0,6154
Zaranda N°5	0,0000	0,0000	0	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,0000
Zaranda N°6	0,0000	0,0000	0	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,0000
Zaranda N°7	0,0000	0,0000	0	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,0000
Malla 3 en 1	0,0000	0,0000	0	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,0000
Desarenador	0,0000	0,0000	0	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,0000
Deslimador	0,0000	0,0000	0	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,0000
Centrifuga	0,0000	0,0000	0	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,0000
<b>TOTALES</b>	-----	-----	-----	6990,00	3066,85	3923,15	-----	-----
	RESPUESTA							
	SIGA BIENDO RESULTADOS							

FIGURA N° J- 29: Primera Parte de los Resultados

x	x	x	x	x	x
<b>ASG</b>	% Hematita Desc.	% Barita Desc.	Hematita Desc.	Barita Desc.	Sol. De Perf. Desc.
[Adimens]	Ver Tabla [Fr]	Ver Tabla [Fr]	[Lb/Hr]	[Lb/Hr]	m <sub>Sol.per Desc</sub> [Lb/Hr]
2,4385	0,000	0,000	0,00	0,00	1374,55
3,7098	0,000	0,757	0,00	817,20	262,80
2,7336	0,000	0,124	0,00	148,39	1051,61
2,0138	0,000	0,000	0,00	0,00	1353,85
0,0000	0,000	0,000	0,00	0,00	0,00
0,0000	0,000	0,000	0,00	0,00	0,00
0,0000	0,000	0,000	0,00	0,00	0,00
0,0000	0,000	0,000	0,00	0,00	0,00
0,0000	0,000	0,000	0,00	0,00	0,00
0,0000	0,000	0,000	0,00	0,00	0,00
0,0000	0,000	0,000	0,00	0,00	0,00
0,0000	0,000	0,000	0,00	0,00	0,00
0,0000	0,000	0,000	0,00	0,00	0,00
	-----	-----	0,00	965,59	4042,80
	RESPUESTA				
	SIGA BIENDO RESULTADOS				

FIGURA N° J- 30: Segunda Parte de los Resultados

El significado de cada celda es similar al presentado en el procedimiento de porcentaje en volumen, con la diferencia de que las formulas utilizadas son las de porcentaje en peso.

- Este programa realiza el cálculo de la eficiencia, para el procedimientos de porcentaje en volumen. Y los mismos se presentan a continuación (ver Figura N° J- 31):



	H	I	J	K	L	M	N	O	P
29									
30					<b>CALCULOS A LA SALIDA</b>				
31									
32		Contenido de Sol. Secos (%S)	0,2	Masa Liquid Desc. $m_{Liq.Liq.Desc.} [Lb/Hr]$	5997,60	Vol. Agua Desc. $Vol. Agua Desc. [Gal/Hr]$	720	Hematita Desc. $[Lb/Hr]$	0,00
33									
34		GE del Liquido $GE Liq. (Adim)$	1	Contenido de Aceite (%Aceite)	0	ASG $[Adimens]$	3,863145258	Barita Desc. $[Lb/Hr]$	4210,88
35									
36		Sol. Hum. Desc. $m_{Sol.Hum.} [Lb/Hr]$	11790,00	Contenido de Agua (%Agua)	0,8	% Hematita Desc. $Ver Tabla (Fr)$	0	CaCO <sub>3</sub> Desc. $[Lb/Hr]$	0,00
37									
38		Sol. Secar Desc. $m_{Sol.Secar} [Lb/Hr]$	5792,40	Vol. Aceite Desc. $Vol. Aceite Desc. [Gal/Hr]$	0	% Barita Desc. $Ver Tabla (Fr)$	0,726965786	Sol. Perf. Desc. $m_{Sol.Perf.} [Lb/Hr]$	1581,52
39									
40									
41		Sol De Perf Generado $[Lb/Hr]$	1581,52	Densf en el Lodo $[Lb/Hr]$	4210,88	Liquido en el Lodo $[Lb/Hr]$	5997,60		
42									
43									
44									
45									
46									
47									
48									
49					<b>CALCULO DE LA EFICIENCIA</b>				
50									
51					<b>Eficiencia</b>				
52					EF=		%		
53					83,4056592				
54									
55					Densificante Descartados		Liquido Descartados		
56					0,00	%	6,805555556		
57									
58									

FIGURA N° J- 31: Hoja de Resultados del Cálculo de la Eficiencia

El significado de cada celda es el mismo descrito para el procedimiento de porcentaje en volumen a la descarga, y los 3 parámetros diferentes son detallados a continuación:

- **EF:** esta casilla muestra la eficiencia del sistema completo de control de sólidos (Ver Figura N° J- 32). Se utilizó la ecuación del **Apéndice I**.

<b>Eficiencia</b>	
EF=	
83,4056592	%

FIGURA N° J- 32: Eficiencia del Sistema de Control de Sólidos

- **Densificante Descartado:** esta casilla muestra el porcentaje de densificante descartado por el sistema de control de sólidos (Ver Figura N° J- 33). Se utilizó la ecuación del **Apéndice I**.

Densificante Descartados	
0,00	%

FIGURA N° J- 33: Porcentaje Descartado de Densificante

- **Líquido Descartado:** esta casilla muestra el porcentaje del líquido descartado por el sistema de control de sólidos (Ver Figura N° J- 34). Se utilizó la ecuación del Apéndice I.

Líquido Descartados	
6,80555556	%

FIGURA N° J- 34: Porcentaje Descartado de Líquido

# APÉNDICE K

## FORMATOS INICIALES DE LOS PROGRAMAS ENTREGADOS POR LAS EMPRESAS DE SERVICIOS

- Sección de 17 1/2":
  - Fecha: 15/09/01.

EQUIPOS		SHAKER		SHAKER		SHAKER		SHAKER		SHAKER		SHAKER		SHAKER		SHAKER		CENTRIFUGA
DESCRIPCION	1	2	3	4	5	3:1												
MALLAS	84	84	50	84	84	50	84	84	50	84	84	50	84	84	50	210	210	210
D. ENTRANDO	13.1	13.1	13.1	13.1	13.1	13												
D. SALIENDO	13	13	13	13	13	16												
T.D. SÓLIDOS (R) seg	40,00	36,00	36,00	36,00	36,00	44,00												
D. SÓLIDOS (D) (Peso)	14,10	14,10	14,10	14,10	14,10	15,50												
¿ VOL SÓLIDOS (Ys)	60,00	40,00	40,00	40,00	40,00	50,00												
¿ VOL LÍQUIDO (Y1)	40,00	60,00	60,00	60,00	60,00	50,00												
Sólidos Húmedos Descartados	317,25	352,50	352,50	352,50	352,50	317,05												
Sólidos Secos Descartados	255,69	249,90	249,90	249,90	249,90	231,75												
Lbh Líquido descartado	61,56	102,60	102,60	102,60	102,60	85,30												
¿ Eficiencia individual	15,74	15,38	15,38	15,38	15,38	14,27												
ASG SÓLIDOS	2,4	4,2	4,2	4,2	4,2	2,7												
LGS¿ PESO	2,8	1,7	1,7	1,7	1,7	2,6												
RPM MOTOR	1.800,00	1.800,00	1.800,00	1.800,00	1.800,00	1.800,00												
LONGITUD STROKE	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15												
FUERZA G	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	6,9												
Total Sólidos Húmedos Descartados			624,75															
Total Sólido Secos Descartados			999,60															
lbs/h Sólidos perforados			1624,35															
Total Eficiencia			91,55															

FIGURA N° K- 1: Formato Inicial

- Fecha: 18/09/01.


		 A HALLIBURTON COMPANY																
		<b>REPORTE DE EFICIENCIA DE CONTROL DE SOLIDOS</b>																
6	TALADRO: HP-113				FECHA:	18-Sep-02	REALIZADO:	JOSE MEDINA										
7	POZO: ORS-73				PROF: ft.	8.000	TIPO DE LODG:	SEMIDISPERSO										
8	FECHA INICIO PERFORACION :29/9/01				ROP ft/hr	9,8	DIAM. MECHA:	pulg	17 1/2									
9	LOCACIÓN: ORS-S11WD				PESO LODG:lb	13.4	GPM:	813										
		PRIMARIOS																
EQUIPOS	SHAKER		SHAKER		SHAKER		SHAKER		SHAKER		SHAKER		SHAKER		CENTRIFUG			
DESCRIPCION	1		2		3		4		5		3:1							
14 MALLAS	84	84	50	84	84	50	84	84	50	84	84	50	84	84	50	210	210	210
15 D. ENTRANDO	13,4		13,4		13,4		13,4		13,4		17,4							
16 D. SALIENDO	13,5		13,5		13,5		13,5		13,5		14							
17 T.D. SOLIDOS (R) seg	28,00		28,00		28,00		28,00		28,00		35,00							
18 D. SÓLIDOS (D) (Peso)	13,90		14,50		13,90		13,90		15,00		18,00							
19 % VOL SOLIDOS (Ys)	80,00		80,00		80,00		80,00		80,00		72,00							
20 % VOL LÍQUIDO (Yl)	20,00		20,00		20,00		20,00		20,00		28,00							
22 Sólidos Húmedos Descartados	446,79		466,07		446,79		446,79		482,14		462,86							
23 Sólidos Secos Descartados	402,81		422,10		402,81		402,81		438,17		402,81							
24 Lbh Líquido descartado	43,97		43,97		43,97		43,97		43,97		60,05							
25 % Eficiencia individual	15,18		15,91		15,18		15,18		15,18		16,52		15,18					
26 ASG SOLIDOS	1,5		1,6		1,5		1,5		1,7		2,0							
27 LGS% PESO	3,3		3,3		3,3		3,3		3,2		3,1							
29 RPM MOTOR	1.800,00		1.800,00		1.800,00		1.800,00		1.800,00		1.800,00		1.800,00					
30 LONGITUD STROKE	0,16		0,16		0,16		0,16		0,16		0,15							
31 FUERZA G	7,4		7,4		7,4		7,4		7,4		6,9							
33 Total Sólidos Húmedos Descartados			987,21															
34 Total Sólido Secos Descartados			1.665,90															
36 lbs/h Sólidos perforados			2653,105															
37 Total Eficiencia			93,16															

FIGURA N° K- 2: Formato Inicial

- Sección de 12 1/4”:

- Fecha: 01/10/01.


	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
1																						
2	A HALLIBURTON COMPANY																					
3																						
4	<b>REPORTE DE EFICIENCIA DE CONTROL DE SOLIDOS</b>																					
5																						
6	TALADRO: HP-113										FECHA: 01-Oct-02			REALIZADO: JOSE MEDINA								
7	POZO: ORS-73										PROF: ft. 7.900			TIPO DE LODDO: SEMIDISPERSO								
8	FECHA INICIO PERFORACION :28/9/01										ROP ft/hr 78			DIAM. MECHA: pulg 12 1/4								
9	LOCACIÓN: ORS-S11V0										PESO LODDO:lp 14,9			GPM: 530								
10																						
11	PRIMARIOS																					
12	EQUIPOS		SHAKER		SHAKER		SHAKER		SHAKER		SHAKER		SHAKER		SHAKER		CENTRIFUGA					
13	DESCRIPCION		1		2		3		4		5		3:1									
14	MALLAS		84	84	50	84	84	50	84	84	50	84	84	50	84	84	50	210	210	210		
15	D. ENTRANDO		14,9	14,9	14,9	14,9	14,9	14,9	14,9	14,9	14,9	14,9	14,9	14,9	14,9	14,9	14,9	18,5				
16	D. SALIENDO		14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	16,1				
17	T.D. SOLIDOS (R) seg		10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	15,00				
18	D. SÓLIDOS (D) (Peso)		21,70	21,70	21,70	21,70	21,70	21,70	21,70	21,70	21,70	21,70	21,70	21,70	21,70	21,70	21,70	22,00				
19	% VOL SOLIDOS (Vs)		78,00	78,00	78,00	78,00	78,00	78,00	78,00	78,00	78,00	78,00	78,00	78,00	78,00	78,00	78,00	52,00				
20	% VOL LÍQUIDO (Vl)		22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	48,00				
21																						
22	Sólidos Húmedos Descartados		1.953,00	1.953,00	1.953,00	1.953,00	1.953,00	1.953,00	1.953,00	1.953,00	1.953,00	1.953,00	1.953,00	1.953,00	1.953,00	1.953,00	1.953,00	1.320,00				
23	Sólidos Secos Descartados		1.817,57	1.817,57	1.817,57	1.817,57	1.817,57	1.817,57	1.817,57	1.817,57	1.817,57	1.817,57	1.817,57	1.817,57	1.817,57	1.817,57	1.817,57	1.079,81				
24	Lbh Líquido descartado		135,43	135,43	135,43	135,43	135,43	135,43	135,43	135,43	135,43	135,43	135,43	135,43	135,43	135,43	135,43	240,19				
25	% Eficiencia individual		17,57	17,57	17,57	17,57	17,57	17,57	17,57	17,57	17,57	17,57	17,57	17,57	17,57	17,57	17,57	10,44				
26	ASG SOLIDOS		3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	4,1				
27	LGS% PESO		2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	1,8				
28																						
29	RPM MOTOR		1.800,00	1.800,00	1.800,00	1.800,00	1.800,00	1.800,00	1.800,00	1.800,00	1.800,00	1.800,00	1.800,00	1.800,00	1.800,00	1.800,00	1.800,00	1.800,00				
30	LONGITUD STROKE		0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15				
31	FUERZA G		7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	6,9				
32																						
33	Total Sólidos Húmedos Descartados					3.076,84																
34	Total Sólido Secos Descartados					7.270,27																
36	lbs/h Sólidos perforados					10347,1095																
37	Total Eficiencia					98,27																
38																						

FIGURA N° K- 3: Formato Inicial

- Fecha: 19/10/01.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
1																						
2	A HALLIBURTON COMPANY																					
3	<b>REPORTE DE EFICIENCIA DE CONTROL DE SOLIDOS</b>																					
4																						
5																						
6	TALADRO: HP-113									FECHA: 19-Oct-02			REALIZADO: JOSE MEDINA									
7	POZO: ORS-73									PROF: ft. 14.222			TIPO DE LODO: VASSA 100%									
8	FECHA INICIO PERFORACION :28/9/01									ROPft/hr 6,05			DIAM. MECHA: pulg 12 1/4									
9	LOCACIÓN: ORS-S11W0									PESO LODO:lp 16,3			GPM: 572									
10																						
11	PRIMARIOS																					
12	EQUIPOS																		CENTRIFUGA			
13	DESCRIPCION																		3:1			
14	SHAKER 1			SHAKER 2			SHAKER 3			SHAKER 4			SHAKER 5			SHAKER 3:1						
15	84	84	50	84	84	50	84	84	50	84	84	50	84	84	50	210	210	210				
16	D. ENTRANDO			16,4			16,4			16,4			16,4			16,4			16,4			
17	D. SALIENDO			14,8			14,8			14,8			14,8			14,8			16,2			
18	T.D. SOLIDOS (R) seg			111,00			111,00			111,00			111,00			111,00			105,00			
19	D. SÓLIDOS (D) (Peso)			18,30			18,30			18,30			18,30			18,30			22,20			
20	% VOL SOLIDOS (Vs)			56,00			56,00			56,00			56,00			56,00			56,00			
21	% VOL LÍQUIDO (Vl)			44,00			44,00			44,00			44,00			44,00			44,00			
22	Sólidos Húmedos Descartados			148,38			148,38			148,38			148,38			148,38			190,29			
23	Sólidos Secos Descartados			123,98			123,98			123,98			123,98			123,98			158,83			
24	Lbh Líquido descartado			24,40			24,40			24,40			24,40			24,40			31,45			
25	% Eficiencia individual			15,45			15,45			15,45			15,45			15,45			19,79			
26	ASG SOLIDOS			3,8			3,8			3,8			3,8			3,8			3,8			
27	LGS% PESO			1,9			1,9			1,9			1,9			1,9			2,0			
28																						
29	RPM MOTOR			1.800,00			1.800,00			1.800,00			1.800,00			1.800,00			1.800,00			
30	LONGITUD STROKE			0,16			0,16			0,16			0,16			0,16			0,15			
31	FUERZA G			7,4			7,4			7,4			7,4			7,4			6,9			
32																						
33	Total Sólidos Húmedos Descartados						306,66															
34	Total Sólidos Secos Descartados						495,90															
35	lbs/h Sólidos perforados						802,5642625															
36	Total Eficiencia						97,03															
37																						
38																						

FIGURA N° K- 4: Formato Inicial

- Sección de 6 1/2”:

- Fecha: 16/01/02.



**REPORTE DE EFICIENCIA DE CONTROL DE SOLIDOS**

6	TALADRO: HP-113	FECHA: 16-Ene-02	REALIZADO: JOSE MEDINA
7	POZO: ORS-73	PROF: ft. 15.907	TIPO DE LODO: VASSA 100%
8	FECHA INICIO PERFORACION :28/9/01	ROP ft/hr 7	DIAM. MECHA: pulg 6 1/2
9	LOCACIÓN: ORS-S11W0	PESO LODO:lp 9,5	GPM: 135

EQUIPOS	PRIMARIOS						CENTRIFUGA								
	SHAKER 1		SHAKER 2		SHAKER 3			SHAKER 4		SHAKER 5		SHAKER 3:1			
DESCRIPCION	84	84	50	84	84	50	84	84	50	84	84	50	210	210	210
D. ENTRANDO	9,04	9,04		9,04	9,04		9,04	9,04		9,04	9,04		9,04	9,04	
D. SALIENDO	9,82	9,82		9,82	9,82		9,82	9,82		9,82	9,82		9,82	9,82	
T.D. SOLIDOS (R) seg	292,00	285,00		315,00	280,00		280,00	280,00		280,00	320,00				
D. SÓLIDOS (D) (Peso)	15,40	15,40		15,40	15,40		15,40	15,40		15,40	15,40				
z VOL SOLIDOS (Vs)	79,00	79,00		79,00	79,00		79,00	79,00		79,00	79,00				
z VOL LÍQUIDO (Vl)	21,00	21,00		21,00	21,00		21,00	21,00		21,00	21,00				
Sólidos Húmedos Descartados	47,47	48,63		44,00	49,50		49,50	49,50		49,50	43,31				
Sólidos Secos Descartados	43,04	44,10		39,90	44,88		44,88	44,88		44,88	38,39				
Lbh Líquido descartado	4,43	4,54		4,10	4,62		4,62	4,62		4,62	4,93				
% Eficiencia individual	16,46	16,87		15,26	17,17		17,17	17,17		17,17	14,68				
ASG SOLIDOS	1,8	1,8		1,8	1,8		1,8	1,8		1,8	1,3				
LGS% PESO	3,1	3,1		3,1	3,1		3,1	3,1		3,1	3,5				
RPM MOTOR	1.800,00	1.800,00		1.800,00	1.800,00		1.800,00	1.800,00		1.800,00	1.800,00				
LONGITUD STROKE	0,16	0,16		0,16	0,16		0,16	0,16		0,16	0,15				
FUERZA G	7,4	7,4		7,4	7,4		7,4	7,4		7,4	6,9				
Total Sólidos Húmedos Descartados				87,69											
Total Sólido Secos Descartados				173,76											
lbs/h Sólidos perforados				261,443											
Total Eficiencia				97,61											

FIGURA N° K- 5: Formato Inicial

- Fecha: 19/01/02.

EQUIPOS		PRIMARIOS						CENTRIFUGA							
DESCRIPCION	SHAKER 1		SHAKER 2		SHAKER 3		SHAKER 4	SHAKER 5	SHAKER 3:1						
MALLAS	84	84	50	84	84	50	84	84	50	84	84	50	210	210	210
D. ENTRANDO	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
D. SALIENDO	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
T.D. SOLIDOS (R) seg	345,00	340,00	340,00	308,00	308,00	323,00	318,00	320,00	318,00	320,00	318,00	320,00	318,00	320,00	320,00
D. SÓLIDOS (D) (Peso)	14,90	14,90	14,90	14,90	14,90	14,90	14,90	14,90	14,90	14,90	14,90	14,90	14,90	14,90	14,90
¿ VOL SOLIDOS (Vs)	77,00	77,00	77,00	77,00	77,00	77,00	77,00	77,00	77,00	77,00	77,00	77,00	77,00	77,00	77,00
¿ VOL LÍQUIDO (Vl)	23,00	23,00	23,00	23,00	23,00	23,00	23,00	23,00	23,00	23,00	23,00	23,00	23,00	23,00	23,00
Sólidos Húmedos Descartados	38,87	39,44	39,44	43,54	43,54	41,52	42,17	41,91	42,17	41,91	42,17	41,91	42,17	41,91	41,91
Sólidos Secos Descartados	34,77	35,28	35,28	38,94	38,94	37,13	37,72	36,51	37,72	36,51	37,72	36,51	37,72	36,51	36,51
Lbh Líquido descartado	4,10	4,16	4,16	4,60	4,60	4,38	4,45	5,39	4,45	5,39	4,45	5,39	4,45	5,39	5,39
¿ Eficiencia individual	15,51	15,74	15,74	17,38	17,38	16,57	16,83	16,29	16,83	16,29	16,83	16,29	16,83	16,29	16,29
ASG SOLIDOS	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,3	1,8	1,3	1,8	1,3	1,8	1,3	1,3
LGS¿ PESO	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,5	3,2	3,5	3,2	3,5	3,2	3,5	3,5
RPM MOTOR	1.800,00	1.800,00	1.800,00	1.800,00	1.800,00	1.800,00	1.800,00	1.800,00	1.800,00	1.800,00	1.800,00	1.800,00	1.800,00	1.800,00	1.800,00
LONGITUD STROKE	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15	0,16	0,15	0,16	0,15	0,16	0,15	0,15
FUERZA G	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	6,9	7,4	6,9	7,4	6,9	7,4	6,9	6,9
Total Sólidos Húmedos Descartados				75,02	75,02										
Total Sólido Secos Descartados				149,07	149,07										
lbs/h Sólidos perforados				224,094	224,094										
Total Eficiencia				98,33	98,33										

FIGURA N° K- 6: Formato Inicial



# APÉNDICE L

## FORMATOS DEL PROGRAMA REFORMADO Y DEL PROGRAMA COMERCIAL, PARA LAS SECCIONES PERFORADAS DE 17 1/2, 12 1/4 Y 6 1/2 PULGADAS

- Sección de 17 1/2” del taladro

De la sección de 17 1/2” se suministró dos formatos de los programas comerciales de eficiencia.

- Fecha: 15/09/01.

A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V																			
<b>REPORTE DE EFICIENCIA DE CONTROL DE SOLIDOS</b>																			
6	TALADRO: XXXX			FECHA: 15-Sep-01			REALIZADO: XXXX												
7	POZO: XXXX			PROF: ft. 4 778			TIPO DE LODO: SEMIDISPERSO			1									
8	FECHA INICIO PERFORACION: 9/8/01			ROP: ft/hr 6			DIAM. MECHA: pulg 17 1/2												
9	LOCACIÓN: XXXX			PESO LODO: lpp 13,1			GPM: 786												
EQUIPOS		PRIMARIOS														CENTRIFUGA			
13	DESCRIPCION	SHAKER 1		SHAKER 2		SHAKER 3		SHAKER 4		SHAKER 5		SHAKER 3:1							
14	MALLAS	04	04	80	04	04	80	04	04	80	04	04	80	210	210	210			
15	D. ENTRANDO	13,1		13,1		13,1		13,1		13,1		16							
16	D. SALIENDO	13		13		13		13		13		13							
17	T.D. SOLIDOS (R) seg	40,00		36,00		36,00		36,00		36,00		44,00							
18	D. SÓLIDOS (D) (Peso)	14,10		14,10		14,10		14,10		14,10		15,50							
19	% VOL SOLIDOS (Vs)	60,00		60,00		60,00		60,00		60,00		50,00							
20	% VOL LIQUIDO (Vl)	40,00		40,00		40,00		40,00		40,00		50,00							
22	Sólidos Húmedos Descartados	317,25		352,50		352,50		352,50		352,50		317,05							
23	Sólidos Secos Descartados	242,28		269,20		269,20		269,20		269,20		231,85							
24	Lbh Líquido descartado	74,97		83,30		83,30		83,30		83,30		85,19							
25	% Eficiencia individual	14,92		16,57		16,57		16,57		16,57		14,27							
26	ASG (GE prom)	2,2		2,2		2,2		2,2		2,2		2,2							
27	LG&S Vol. (fr)	1,0		1,0		1,0		1,0		1,0		1,0							
29	RPM MOTOR	1.800,00		1.800,00		1.800,00		1.800,00		1.800,00		1.800,00							
30	LONGITUD STROKE	0,16		0,16		0,16		0,16		0,16		0,15							
31	FUERZA G	7,4		7,4		7,4		7,4		7,4		6,9							

FIGURA N° L.1: Datos y Resultados del Programa Comercial



FIGURA N° L. 2: Datos del Programa Reformado

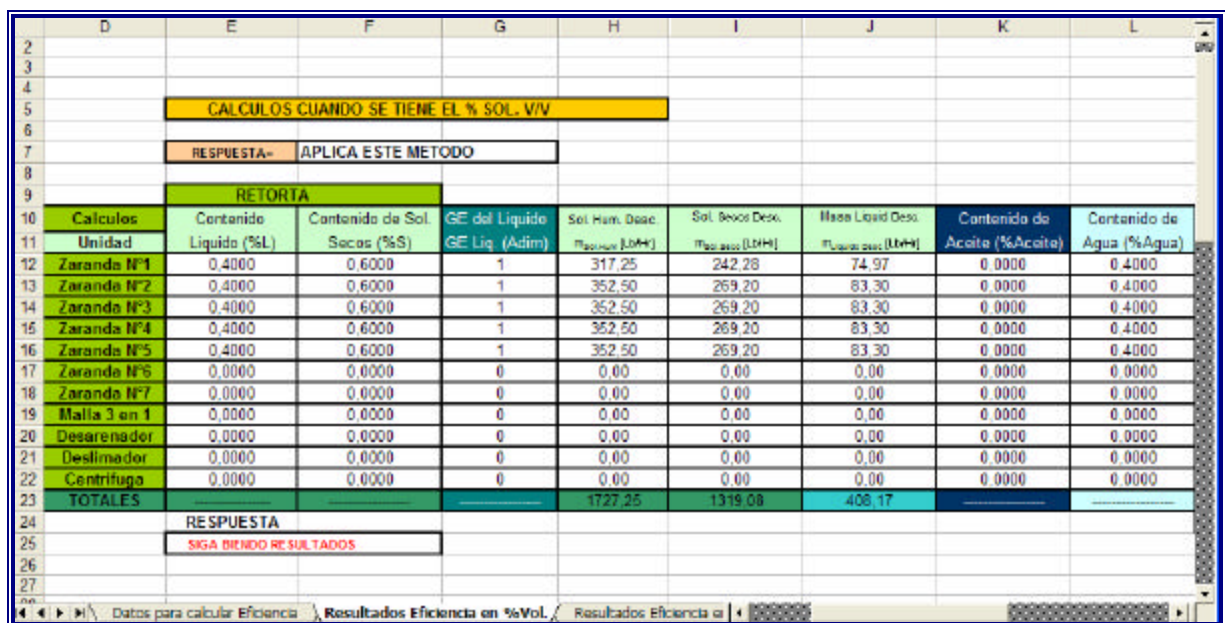


FIGURA N° L. 3: Respuesta (1) del Programa Reformado

	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
10	Contenido de Agua (%Agua)	Vol. Accto Desc. (G/MH)	Vol. Agua Desc. (G/MH)	ASG (Adimens)	%Humedad Desc. ver Tabla (Fr)	% Barta Desc. ver Tabla (Fr)	Humedad Desc. (Lb/Hr)	Barta Desc. (Lb/Hr)	CaCO <sub>3</sub> Desc. (Lb/Hr)	Sólido Prol. Desc. (Mg por Ton. Barta)
11	0.4000	0.00	9.00	2.1545	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	242.28
12	0.4000	0.00	10.00	2.1545	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	269.20
13	0.4000	0.00	10.00	2.1545	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	269.20
14	0.4000	0.00	10.00	2.1545	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	269.20
15	0.4000	0.00	10.00	2.1545	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	269.20
16	0.4000	0.00	10.00	2.1545	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	269.20
17	0.0000	0.00	0.00	0.0000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
18	0.0000	0.00	0.00	0.0000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
19	0.0000	0.00	0.00	0.0000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
20	0.0000	0.00	0.00	0.0000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
21	0.0000	0.00	0.00	0.0000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
22	0.0000	0.00	0.00	0.0000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
23		0.00	49.00				0.00	0.00	0.00	1319.08
24		0	1.1666667	RESPUESTA						
25		Bbls/Hr	Bbls/Hr	SIGA BIENDO RESULTADOS						

FIGURA N° L. 4: Respuesta (2) del Programa Reformado

- Fecha: 18/09/01.

REPORTE DE EFICIENCIA DE CONTROL DE SOLIDOS																				
TALADRO: XXXX					FECHA: 18-Sep-01		REALIZADO: XXXX													
POZO: XXXX					PROF: ft. 6.000		TIPO DE LODO: SEMIDISPERSO 1													
FECHA INICIO PERFORACION S/S/01					ROP: ft/hr 9.8		DIAM. MECHA: pulg 17 1/2													
LOCACION: XXXX					PESO LODO:pg 13.4		GPM: 813													
PRIMARIOS																				
EQUIPOS	SHAKER 1			SHAKER 2			SHAKER 3			SHAKER 4			SHAKER 5			SHAKER 3:1			CENTRIFUGA	
DESCRIPCION	84	84	50	84	84	50	84	84	50	84	84	50	84	84	50	210	210	210		
D. ENTRANDO	13.6			13.6			13.6			13.6			13.6			17.4				
D. SALIENDO	13.4			13.4			13.4			13.4			13.4			14				
T.B. SÓLIDOS (R) seg	28.00			28.00			28.00			28.00			28.00			35.00				
D. SÓLIDOS (D) (Pozo)	13.90			14.50			13.90			13.90			15.00			18.00				
% VOL SÓLIDOS (Va)	80.00			80.00			80.00			80.00			80.00			72.00				
% VOL LÍQUIDO (Vl)	20.00			20.00			20.00			20.00			20.00			28.00				
Sólidos Húmedos Descartados	446.79			466.07			446.79			446.79			482.14			462.86				
Sólidos Secos Descartados	393.24			412.52			393.24			393.24			428.99			402.88				
LbH Líquido descartado	53.55			53.55			53.55			53.55			53.55			59.98				
% Eficiencia individual	14.82			15.55			14.82			14.82			16.15			15.19				
ASG (GT prom)	1.8			1.9			1.8			1.8			2.0			2.6				
LG% Vol. (hr)	1.0			1.0			1.0			1.0			1.0			1.0				
RPM MOTOR	1.800.00			1.800.00			1.800.00			1.800.00			1.800.00			1.800.00				
LONGITUD STROKE	0.16			0.16			0.16			0.16			0.16			0.15				
FUERZA G	7.4			7.4			7.4			7.4			7.4			6.9				

FIGURA N° L. 5: Datos y Resultados del Programa Comercial

EQUIPOS DE CONTROL DE SÓLIDOS											
DESECHOS DE LOS EQUIPOS											
SOL. P.P.P. DENSIFICANTE LODO											
HORA DE TOMA DE MUESTRA 02:36 p.m.											
TALADRO= 3000 PROFUNDIDAD= 6003						DATOS DE SALIDA					
POZO= 3000 GPM= 603						DENS. LODO= 10.1					
FECHA= 18/05/2001 DENS. DEL LODO= 15.4						S. Vol. LQ= 9.8					
TIPO DE LODO= AGUA GE. Agua= 1						S. Vol. Aceite= 0					
DENSIFICANTE= BARITA GE. Aceite= 0.028120						Resistencia= 9.5					
P.P.P.= 3.8 GE. Sol. Past.= 7.2						S. Vol. Agua= 6.29					
D. mech.= 17.12 GE. Densit.= 4.2						RESPUESTA RESPUESTA					
RESPUESTA						Resp. Ret. Resp. Ret.					
D A T O S						0/0281120					
DATOS SOLO PARA % SÓLIDOS P.P.P.											
Unidad	Muestreo	Retorta	Retorta	Retorta	Retorta	Desarenador	Desarenador	Desarenador	Desarenador	Desarenador	Desarenador
Zaranda N°1	1	0	1	1	11.9	25	0.25	0	0.0000	0.0000	NOTA:
Zaranda N°2	1	0	1	1	14.5	25	0.25	0	0.0000	0.0000	Zaranda Sec.
Zaranda N°3	1	0	1	1	13.3	25	0.25	0	0.0000	0.0000	genera lodo
Zaranda N°4	1	0	1	1	13.3	25	0.25	0	0.0000	0.0000	en la elctrica
Zaranda N°5	1	0	1	1	9	25	0.25	0	0.0000	0.0000	que solo
Zaranda N°6	1	0	1	1	0	0	0	0	0.0000	0.0000	muestra parte
Zaranda N°7	1	0	1	1	0	0	0	0	0.0000	0.0000	del lado total
Malla 3 en 1	1	0	1	1	0	25	0.25	0	0.0000	0.0000	del lado
Desarenador	No Retorta	0	1	1	0	0	0	0	0.0000	0.0000	
Deslimador	No Retorta	0	1	1	0	0	0	0	0.0000	0.0000	
Centrifuga	No Retorta	0	1	1	0	0	0	0	0.0000	0.0000	
Resistencia	0	0	1	1	0	0	0	0	0.0000	0.0000	
TOTALES	1	0	1	1	1	0	0	0	0.0000	0.0000	

FIGURA N° L.6: Datos del Programa Reformado

CALCULOS CUANDO SE TIENE EL % SOL. VIV									
RESPUESTA= APLICA ESTE METODO									
RETORTA									
Calculos	Contenido	Contenido de Sol.	GE del Liquido	Sol. Hum. Desc.	Sol. Secos Desc.	Masa Liquid Desc.	Contenido de	Contenido de	
Unidad	Liquido (%L)	Secos (%S)	GE. Liq. (Adim)	M <sub>sol</sub> (LbM <sup>3</sup> )	M <sub>secos</sub> (LbM <sup>3</sup> )	M <sub>liquido</sub> (LbM <sup>3</sup> )	Aceite (%Aceite)	Agua (%Agua)	
Zaranda N°1	0.2000	0.8000	1	446.79	393.24	63.55	0.0000	0.2000	
Zaranda N°2	0.2000	0.8000	1	466.07	412.62	63.56	0.0000	0.2000	
Zaranda N°3	0.2000	0.8000	1	446.79	393.24	63.55	0.0000	0.2000	
Zaranda N°4	0.2000	0.8000	1	446.79	393.24	63.55	0.0000	0.2000	
Zaranda N°5	0.2000	0.8000	1	482.14	428.69	63.56	0.0000	0.2000	
Zaranda N°6	0.0000	0.0000	0	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0000	
Zaranda N°7	0.0000	0.0000	0	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0000	
Malla 3 en 1	0.2800	0.7200	1	462.86	402.88	59.98	0.0000	0.2800	
Desarenador	0.0000	0.0000	0	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0000	
Deslimador	0.0000	0.0000	0	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0000	
Centrifuga	0.0000	0.0000	0	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0000	
TOTALES				2751.43	2423.70	327.73			
RESPUESTA									
SIGA BIENDO RESULTADOS									

FIGURA N° L.7: Respuesta (1) del Programa Reformado

	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
10	Contenido de Agua (%Agua)	Vol. Acido Desc. (Lb/Hr)	Vol. Agua Desc. (Gals/Hr)	ASG [Admons]	% Humedad Desc. Var Tabla (Fr)	% Sólido Desc. Var Tabla (Fr)	Fleamita Desc. (Lb/Hr)	Santa Desc. (Lb/Hr)	CaCO <sub>3</sub> Desc. (Lb/Hr)	Sólido Pwr Desc. (Pounds/Lb/Hr)
12	0.2000	0.00	6.43	1.8368	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	393.24
13	0.2000	0.00	6.43	1.8269	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	412.62
14	0.2000	0.00	6.43	1.8368	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	393.24
15	0.2000	0.00	6.43	1.8368	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	393.24
16	0.2000	0.00	6.43	2.0009	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	428.59
17	0.0000	0.00	0.00	0.0000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
18	0.0000	0.00	0.00	0.0000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
19	0.2800	0.00	7.20	2.6123	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	402.88
20	0.0000	0.00	0.00	0.0000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
21	0.0000	0.00	0.00	0.0000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
22	0.0000	0.00	0.00	0.0000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
23	0.00	0.00	39.34	0.0000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	2423.70
24	0	0.9367347		RESPUESTA						
25	Ebls/Hr		Ebls/Hr		SIGA BENDO RESULTADOS					

FIGURA N° L.8: Respuesta (2) del Programa Reformado

- Sección de 12 ¼” del taladro

De la sección de 12 ¼” se suministró dos formatos de los programas comerciales de eficiencia.

- Fecha: 01/10/01.

REPORTE DE EFICIENCIA DE CONTROL DE SOLIDOS												
TALADRO: XXXX			FECHA: 01 de Agosto			REALIZADO: XXXX						
POZO: XXXX			PROF: ft 7.900			TIPO DE LODO: VASSA 100%			0.82			
FECHA INICIO PERFORACION :08/01			ROP: ft/hr 78			DIAM. MECHA: pulg 12.14						
LOCACIÓN: XXXX			PESO LODO:ppg 14.9			GPM: 530						
EQUIPOS	PRIMARIOS						CENTRIFUGA					
	SHAKER 1		SHAKER 2		SHAKER 3							
DESCRIPCION	04	04	04	04	04	04	210					
MALLAS	04	04	04	04	04	04	210					
D. ENTRANDO	14.8	14.9	14.9	14.8	14.9	14.9	18.5					
D. SALIENDO	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8	18.1					
T.D. SOLIDOS (R) seg	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	15.00					
D. SÓLIDOS (D) (Peso)	21.70	21.70	21.70	21.70	21.70	21.70	22.00					
% VOL SOLIDOS (Vs)	78.00	78.00	78.00	78.00	78.00	78.00	52.00					
% VOL LIQUIDO (Vl)	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	48.00					
Sólidos Húmedos Descartados	1.953,00	1.953,00	1.953,00	1.953,00	1.953,00	1.953,00	1.320,00					
Sólidos Secos Descartados	1.817,57	1.817,57	1.817,57	1.817,57	1.817,57	1.817,57	1.123,01					
Lbt Líquido descartado	135,43	135,43	135,43	135,43	135,43	135,43	198,99					
% Eficiencia individual	17,57	17,57	17,57	17,57	17,57	17,57	10,85					
ASG (OE prom)	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	4,3					
LGS% Vol (tr)	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,0					
RPM MOTOR	1.800,00	1.800,00	1.800,00	1.800,00	1.800,00	1.800,00	1.800,00					
LONGITUD STROHE	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15					
FUERZA G	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	6,9					

FIGURA N° L.9: Datos y Resultados del Programa Comercial

EQUIPOS DE CONTROL DE SÓLIDOS										
DESECHOS DE LOS EQUIPOS										
SOL. PPHF    DENSIFICANTE    LODO										
HORA DE TOMA DE MUESTRA: 02:30 p.m.										
TALADRO: 3000    PROFUNDIDAD: 2990 PZDA: 3000    GPM: 570 FECHA: 01/01/2001    DENS. DEL LODOS: 16.9					DATOS DE SALIDA DENS. LODOS: 14.9 % Vol. LIQ: 0.72    UNIT. SENSIBLE SOL. Aceite: 0.72    UNIT. SENSIBLE % Aceite: 0.01 % Secos: 0.20					
TIPO DE LODOS: ACEITE    GE. Agua: 1 DENSIFICANTE: BARIITA    GE. Aceite: 0.821128 ROP: 73    GE. Sol. PPHF: 2.7 Densidad: 12.14    GE. Desad.: 6.3					RESPUESTA    RESPUESTA Expresión    CONVERSION    0.02300015					
RESUESTA: 02/02/01										
D A T O S										
DATOS SÓLO PARA X SÓLIDOS PPHF										
Datos	Retorta	Retorta	Retorta	Retorta	Retorta	Retorta	Retorta	Retorta	Retorta	
Unidad	Lb	gr	gr	gr	Gravimétrico	Seg	Vol. Líquido	% CaCO3	Ret. De Aceite	Ret. De Agua
Zaranda N°1	0	0	0	0	217	33	0.25	0	0.2500	0.2500
Zaranda N°2	0	0	0	0	217	33	0.25	0	0.2500	0.2500
Zaranda N°3	0	0	0	0	217	33	0.25	0	0.2500	0.2500
Zaranda N°4	0	0	0	0	217	33	0.25	0	0.2500	0.2500
Zaranda N°5	0	0	0	0	217	33	0.25	0	0.2500	0.2500
Zaranda N°6	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0000	0.0000
Zaranda N°7	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0000	0.0000
Malta 3 en 1	0	0	0	0	32	35	0.25	0	0.4800	0.4800
Desarenador	No Aplica	0	0	0	0	0	0	0	0.0000	0.0000
Deslimador	No Aplica	0	0	0	0	0	0	0	0.0000	0.0000
Centrifuga	No Aplica	0	0	0	0	0	0	0	0.0000	0.0000
Resaca total	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0000	0.0000
TOTAL										

FIGURA N° L.10: Datos del Programa Reformado

CALCULOS CUANDO SE TIENE EL % SOL. V/V									
RESUESTA: APLICA ESTE METODO									
RETORTA									
Calculos	Contenido Líquido (%L)	Contenido de Sol. Secos (%S)	GE del Líquido GE Lig. (Adim)	Sol. Hum. Desc. $\mu_{\text{sol. hum.}} (\text{Lb/H})$	Sol. Secos Desc. $\mu_{\text{sol. secos}} (\text{Lb/H})$	Masa Líquido Desc. $\mu_{\text{masa liq. desc.}} (\text{Lb/H})$	Contenido de Aceite (%Aceite)	Contenido de Agua (%Agua)	
Zaranda N°1	0.2200	0.7800	0.821128	1953.00	1817.57	135.43	0.2200	0.0000	
Zaranda N°2	0.2200	0.7800	0.821128	1953.00	1817.57	135.43	0.2200	0.0000	
Zaranda N°3	0.2200	0.7800	0.821128	1953.00	1817.57	135.43	0.2200	0.0000	
Zaranda N°4	0.2200	0.7800	0.821128	1953.00	1817.57	135.43	0.2200	0.0000	
Zaranda N°5	0.2200	0.7800	0.821128	1953.00	1817.57	135.43	0.2200	0.0000	
Zaranda N°6	0.0000	0.0000	0	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0000	
Zaranda N°7	0.0000	0.0000	0	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0000	
Malta 3 en 1	0.4800	0.5200	0.821128	1320.00	1123.01	195.99	0.4800	0.0000	
Desarenador	0.0000	0.0000	0	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0000	
Deslimador	0.0000	0.0000	0	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0000	
Centrifuga	0.0000	0.0000	0	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0000	
TOTALES				11085.00	10210.85	874.15			
RESUESTA: SIGA BIENDO RESULTADOS									

FIGURA N° L.11: Respuesta (1) del Programa Reformado

	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
10	Contenido de Agua (%Agua)	Vol. Acabdo Desc. Vol. Acabdo Desc. (Gal/Hr)	Vol. Agua Desc. Vol. Agua Desc. (Gal/Hr)	ASG [Adimens]	% Henealla Desc. Ver Tabla [Fr]	% Barita Desc. Ver Tabla [Fr]	Henealla Desc. [Lb/Hr]	Barita Desc. [Lb/Hr]	CaCO <sub>3</sub> Desc. [Lb/Hr]	Sólido Per. Desc. (Pcs. Per. Sec. Dbl/Hr)
11	0.0000	19.90	0.00	3.1082	0.000	0.255	0.00	463.70	0.00	1353.86
12	0.0000	19.90	0.00	3.1082	0.000	0.255	0.00	463.70	0.00	1353.86
13	0.0000	19.90	0.00	3.1082	0.000	0.255	0.00	463.70	0.00	1353.86
14	0.0000	19.90	0.00	3.1082	0.000	0.255	0.00	463.70	0.00	1353.86
15	0.0000	19.90	0.00	3.1082	0.000	0.255	0.00	463.70	0.00	1353.86
16	0.0000	19.90	0.00	3.1082	0.000	0.255	0.00	463.70	0.00	1353.86
17	0.0000	0.00	0.00	0.0000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
18	0.0000	0.00	0.00	0.0000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
19	0.0000	28.80	0.00	4.3210	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	1123.01
20	0.0000	0.00	0.00	0.0000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
21	0.0000	0.00	0.00	0.0000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
22	0.0000	0.00	0.00	0.0000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
23		127.80	0.00				0.00	2318.52	0.00	7892.33
24		3.042857143 Bbls/Hr	0.0000000 Bbls/Hr	RESPUESTA	SIGA DIENDO RESULTADOS					

FIGURA N° L.12: Respuesta (2) del Programa Reformado

- Fecha: 19/10/01.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
<b>REPORTE DE EFICIENCIA DE CONTROL DE SOLIDOS</b>																			
6	TALADRO: XXXX																		
7	POZO: XXXX								FECHA:	19-Oct-01				REALIZADO: XXXX					
8	FECHA INICIO PERFORACION :9/8/01							PROF: ft.	14.222				TIPO DE LODO:	SEMIDISPERSO					0.82
9	LOCACION: XXXX							ROP: ft/hr	8.05				DIAM. MECHA:	pulg 12 1/4					
10								PESO LODO:ppg	16.3				GPM:	572					
<b>PRIMARIOS</b>																			
12	EQUIPOS	SHAKER 1		SHAKER 2		SHAKER 3		SHAKER 4		SHAKER 5		SHAKER 3:1							
13	DESCRIPCION	84	84	50	84	84	50	84	84	50	84	84	50	84	84	50	210	210	210
14	MALLAS	16,4		16,4		16,4		16,4		16,4		16,4		16,4		16,4			
15	D. ENTRANDO	14,8		14,8		14,8		14,8		14,8		14,8		14,8		14,8			
16	D. SALIENDO	111,00		111,00		111,00		111,00		111,00		111,00		111,00		105,00			
17	T.D. SOLIDOS (R) seg	18,30		18,30		18,30		18,30		18,30		18,30		18,30		22,20			
18	D. SÓLIDOS (D) (Peso)	56,00		56,00		56,00		56,00		56,00		56,00		56,00		58,00			
19	% VOL SOLIDOS (Vs)	44,00		44,00		44,00		44,00		44,00		44,00		44,00		44,00			
20	% VOL LIQUIDO (Vl)	148,38		148,38		148,38		148,38		148,38		148,38		148,38		190,29			
21	Sólidos Húmedos Descartados	123,98		123,98		123,98		123,98		123,98		123,98		123,98		164,49			
22	Sólidos Secos Descartados	24,40		24,40		24,40		24,40		24,40		24,40		24,40		25,80			
23	Lbh Líquido descartado	11,61		11,61		11,61		11,61		11,61		11,61		11,61		15,40			
24	% Eficiencia individual	3,3		3,3		3,3		3,3		3,3		3,3		3,3		4,1			
25	ASG (GE prom)	0,6		0,6		0,6		0,6		0,6		0,6		0,6		0,1			
26	LOG% Vol. [Fr]	1.800,00		1.800,00		1.800,00		1.800,00		1.800,00		1.800,00		1.800,00		1.800,00			
27	RPM MOTOR	0,16		0,16		0,16		0,16		0,16		0,16		0,16		0,15			
28	LONGITUD STROKE	7,4		7,4		7,4		7,4		7,4		7,4		7,4		6,9			
29	FUERZA G																		

FIGURA N° L.13: Datos y Resultados del Programa Comercial

EQUIPOS DE CONTROL DE SÓLIDOS												
DESECHOS DE LOS EQUIPOS												
SOL PERD.    DESREC.FANTE    LODOO												
HORA DE TOMA DE MUESTRA    07:30 p.m.												
TALADRO-    RRRR    PROFUNDIDAD-    10222			FECHA-    RRRR    GPM-    323			DATOS DE SALIDA						
TIPO DE LODO-    ACEITE    GE. Agua-    1			DENS. DEL LODO-    96.2			RET. LODO-    86.4						
DENSIFICANTE-    HARITA    GE. Aceite-    6.821128			DENS.    1			% Vol. LQ-    0.67			MUY SENSIBLE			
ROP-    0.09    GE. Sol. Perd.-    2.7			D. mech.-    12.84    GE. Eneal.-    4.3			Sol. Aceite-    0.67			MUY SENSIBLE			
RESPUESTA			RESPUESTA			Resp. Eneal.    0.0200628						
DATOS IN			DATOS OUT									
D A T O S												
DATOS SOLO PARA % SÓLIDOS PIP												
Datos	Unidad	Medida	Medida	Medida	Medida	Densificantes	T. Sol. Perd.	PM. LODO	% SÓLIDOS	RETORTA	RETORTA	
	Unidad	Lb	gr	gr	gr	gr	gr	gr	gr	gr	gr	
Zaranda N°1		0	0	0	0	83.2	11	0.25	1	1.4192	1.4192	NOTA: Zaranda Sec. postestigado se eliminado en la retorta ya que solo muestran parte del fluido total de lodo.
Zaranda N°2		0	0	0	0	83.3	11	0.25	1	1.4493	1.4493	
Zaranda N°3		0	0	0	0	83.3	11	0.25	1	1.4493	1.4493	
Zaranda N°4		0	0	0	0	81.3	11	0.25	1	1.4493	1.4493	
Zaranda N°5		0	0	0	0	83.3	11	0.25	1	1.4192	1.4192	
Zaranda N°6		0	0	0	0	0	0	0	1	1.0893	1.0893	
Zaranda N°7		0	0	0	0	0	0	0	1	1.0893	1.0893	
Malla 3 en 1		0	0	0	0	22.2	11	0.25	1	1.4192	1.4192	
Desarenador	No Agua	0	0	0	0	0	0	0	1	1.0893	1.0893	
Desarenador	No Aceite	0	0	0	0	0	0	0	1	1.0893	1.0893	
Centrifuga	No Aceite	0	0	0	0	0	0	0	1	1.0893	1.0893	
Centrifuga	No Agua	0	0	0	0	0	0	0	1	1.0893	1.0893	
Desarenador	No Aceite	0	0	0	0	0	0	0	1	1.0893	1.0893	
Desarenador	No Agua	0	0	0	0	0	0	0	1	1.0893	1.0893	
Centrifuga	No Aceite	0	0	0	0	0	0	0	1	1.0893	1.0893	
Centrifuga	No Agua	0	0	0	0	0	0	0	1	1.0893	1.0893	
Desarenador	No Aceite	0	0	0	0	0	0	0	1	1.0893	1.0893	
Desarenador	No Agua	0	0	0	0	0	0	0	1	1.0893	1.0893	
TOTALES						932.18		784.37		147.61		
RESPUESTA												
SIGA DIENDO RESULTADOS												

FIGURA N° L.14: Datos del Programa Reformado

CALCULOS CUANDO SE TIENE EL % SOL. V/V									
RESPUESTA-    APLICA ESTE METODO									
RETORTA									
Calculos	Contenido	Contenido de Sol.	GE del Liquido	Sol. Hum. Desc.	Sol. Seco Desc.	Masa Liquid Desc.	Contenido de	Contenido de	
Unidad	Liquido (%L)	Secos (%S)	GE Liq. (Adm)	#Liq. Hum. (LB/H)	#Sol. Seco (LB/H)	#Liquido Desc. (LB/H)	Aceite (%Aceite)	Agua (%Agua)	
Zaranda N°1	0.4400	0.5600	0.821128	148.38	123.98	24.40	0.4400	0.0000	
Zaranda N°2	0.4400	0.5600	0.821128	148.38	123.98	24.40	0.4400	0.0000	
Zaranda N°3	0.4400	0.5600	0.821128	148.38	123.98	24.40	0.4400	0.0000	
Zaranda N°4	0.4400	0.5600	0.821128	148.38	123.98	24.40	0.4400	0.0000	
Zaranda N°5	0.4400	0.5600	0.821128	148.38	123.98	24.40	0.4400	0.0000	
Zaranda N°6	0.0000	0.0000	0	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0000	
Zaranda N°7	0.0000	0.0000	0	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0000	
Malla 3 en 1	0.4400	0.5600	0.821128	190.29	164.49	25.80	0.4400	0.0000	
Desarenador	0.0000	0.0000	0	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0000	
Deslimador	0.0000	0.0000	0	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0000	
Centrifuga	0.0000	0.0000	0	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0000	
TOTALES				932.18	784.37	147.61			
RESPUESTA									
SIGA DIENDO RESULTADOS									

FIGURA N° L.15: Respuesta (1) del Programa Reformado



	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
10	Contenido de Agua (%Agua)	Vol. Aceite Desc. Vol. Aceite Desc. (Gal/Hr)	Vol. Agua Desc. Vol. Agua Desc. (Bbl/Hr)	ASG [Admns]	%Humedad Desc. Ver Tabla (Fr)	% Sólido Desc. Ver Tabla (Fr)	Humedad Desc. [Lb/Hr]	Barita Desc. [Lb/Hr]	CaCO <sub>3</sub> Desc. [Lb/Hr]	Sólido Piel Desc. [Lb/Hr]
12	0.0000	3.57	0.00	3.2778	0.000	0.361	0.00	44.77	0.00	79.20
13	0.0000	3.57	0.00	3.2778	0.000	0.361	0.00	44.77	0.00	79.20
14	0.0000	3.57	0.00	3.2778	0.000	0.361	0.00	44.77	0.00	79.20
15	0.0000	3.57	0.00	3.2778	0.000	0.361	0.00	44.77	0.00	79.20
16	0.0000	3.57	0.00	3.2778	0.000	0.361	0.00	44.77	0.00	79.20
17	0.0000	0.00	0.00	0.0000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
18	0.0000	0.00	0.00	0.0000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
19	0.0000	3.77	0.00	4.1139	0.000	0.884	0.00	145.35	0.00	19.13
20	0.0000	0.00	0.00	0.0000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
21	0.0000	0.00	0.00	0.0000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
22	0.0000	0.00	0.00	0.0000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
23	-----	21.61	0.00	-----	-----	-----	0.00	369.22	0.00	415.15
24		0.514506343	0.00000000	RESPUESTA						
25		Bbls/Hr	Bbls/Hr	SIGA BIENDO RESULTADOS						

FIGURA N° L.16: Respuesta (2) del Programa Reformado

• Sección de 6 1/2” del taladro

De la sección de 6 1/2” se suministró dos formatos de los programas comerciales de eficiencia.

- Fecha: 16/01/02.

REPORTE DE EFICIENCIA DE CONTROL DE SOLIDOS															
TALADRO: XXXX				FECHA: 16-Ene-02		REALIZADO: XXXX									
POZD: XXXX				PROF: ft 15.907		TIPO DE LODO: VASSA 100%		0.82							
FECHA INICIO PERFORACION: 9/8/01				ROP: ft/hr 7		DIAM. MECHA: pulg 6 1/2									
LOCACION: XXXX				PESO LODO: spg 9.5		GPM: 135									
PRIMARIOS															
DESCRIPCION	SHAKER 1		SHAKER 2		SHAKER 3		SHAKER 4		SHAKER 5		SHAKER 3:1	CENTRIFUGA			
MALLAS	84	84	50	84	84	50	84	84	50	84	84	50	210	210	210
D. ENTRANDO	9.82	9.82	9.82	9.82	9.82	9.82	9.82	9.82	9.82	9.82	9.82	9.82	9.82	9.82	9.82
D. SALIENDO	9.04	9.04	9.04	9.04	9.04	9.04	9.04	9.04	9.04	9.04	9.04	9.04	9.04	9.04	9.04
T.D. SOLIDOS (R) seg	292.00	292.00	292.00	292.00	292.00	292.00	292.00	292.00	292.00	292.00	292.00	292.00	292.00	292.00	292.00
D. SÓLIDOS (D) (Peso)	15.40	15.40	15.40	15.40	15.40	15.40	15.40	15.40	15.40	15.40	15.40	15.40	15.40	15.40	15.40
% VOL SÓLIDOS (Vs)	79.00	79.00	79.00	79.00	79.00	79.00	79.00	79.00	79.00	79.00	79.00	79.00	79.00	79.00	79.00
% VOL LÍQUIDO (Vl)	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00
Sólidos Húmedos Descartados	47.47	47.47	47.47	47.47	47.47	47.47	47.47	47.47	47.47	47.47	47.47	47.47	47.47	47.47	47.47
Sólidos Secos Descartados	43.04	43.04	43.04	43.04	43.04	43.04	43.04	43.04	43.04	43.04	43.04	43.04	43.04	43.04	43.04
LbH Líquido descartado	4.43	4.43	4.43	4.43	4.43	4.43	4.43	4.43	4.43	4.43	4.43	4.43	4.43	4.43	4.43
% Eficiencia individual	16.48	16.48	16.48	16.48	16.48	16.48	16.48	16.48	16.48	16.48	16.48	16.48	16.48	16.48	16.48
ASG (GE prom)	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
LGS% Vol. (Fr)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
RPM MOTOR	1,800.00	1,800.00	1,800.00	1,800.00	1,800.00	1,800.00	1,800.00	1,800.00	1,800.00	1,800.00	1,800.00	1,800.00	1,800.00	1,800.00	1,800.00
LONGITUD STROKE	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
FUERZA G	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4

FIGURA N° L.17: Datos y Resultados del Programa Comercial

EQUIPOS DE CONTROL DE SÓLIDOS										
DESEÑOS DE LOS EQUIPOS										
SOL PRF		CONCENTRANTE		LQD						
HORA DE TOMA DE MUESTRA: 02:30 p.m.										
TALADRO:	XXXX	PROFUNDIDAD:	1000							
POZO:	XXXX	GPM:	175							
FECHA:	10/02/2012	DENS. DEL LQD:	5.0							
TIPO DE LQD:	ACEITE	GE. Agua:	1							
DENSIFICANTE:	BARITA	GE. Aceite:	0.821128							
ROP:	7	GE. Sol. Prf.:	2.0							
D. malla:	5.02	GE. Dens.:	4.2							
RESPUESTA				RESPUESTA RESPUESTA						
DATOS DE SALIDA				0.2008135						
D A T O S										
DATOS SOLO PARA SOLIDOS FFP										
Datos	El sólido	El líquido	El sólido	El líquido	Dens. del Sólido	Dens. del Líquido	GE. del Sólido	GE. del Líquido	GE. del Sólido	GE. del Líquido
Unidad	lb	qt	qt	qt	lb	qt	lb	qt	lb	qt
Zaranda N°1	0	0	0	0	5.4	200	0.25	0	0.2100	0.0000
Zaranda N°2	0	0	0	0	5.4	200	0.25	0	0.2100	0.0000
Zaranda N°3	0	0	0	0	5.4	215	0.25	0	0.2100	0.0000
Zaranda N°4	0	0	0	0	5.4	200	0.25	0	0.2100	0.0000
Zaranda N°5	0	0	0	0	5.4	200	0.25	0	0.2100	0.0000
Zaranda N°6	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0000	0.0000
Zaranda N°7	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0000	0.0000
Malla 3 en 1	0	0	0	0	5.4	200	0.25	0	0.2100	0.0000
Desarenador	No aplica	0	0	0	0	0	0	0	0.0000	0.0000
Deslimador	No aplica	0	0	0	0	0	0	0	0.0000	0.0000
Centrifuga	No aplica	0	0	0	0	0	0	0	0.0000	0.0000
Resaca	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0000	0.0000
RESPUESTA										
DATOS DE										

FIGURA N° L.18: Datos del Programa Reformado

CALCULOS CUANDO SE TIENE EL % SOL. V/V								
RESPUESTA= APLICA ESTE METODO								
RETORTA								
Calculos	Contenido	Contenido de Sol.	GE del Líquido	Sol. Hum. Desc.	Sol. Secos Desc.	Masa Líquid. Desc.	Contenido de	Contenido de
Unidad	Líquido (%L)	Secos (%S)	GE Liq. (Adim)	M <sub>líquido</sub> (LHM)	M <sub>secos</sub> (LHM)	M <sub>líquido desc.</sub> (LHM)	Aceite (%Aceite)	Agua (%Agua)
Zaranda N°1	0.2100	0.7900	0.821128	47.47	43.04	4.43	0.2100	0.0000
Zaranda N°2	0.2100	0.7900	0.821128	48.63	44.10	4.54	0.2100	0.0000
Zaranda N°3	0.2100	0.7900	0.821128	64.47	58.45	6.01	0.2100	0.0000
Zaranda N°4	0.2100	0.7900	0.821128	49.50	44.88	4.62	0.2100	0.0000
Zaranda N°5	0.2100	0.7900	0.821128	49.50	44.88	4.62	0.2100	0.0000
Zaranda N°6	0.0000	0.0000	0	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0000
Zaranda N°7	0.0000	0.0000	0	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0000
Malla 3 en 1	0.2100	0.7900	0.821128	43.31	39.27	4.04	0.2100	0.0000
Desarenador	0.0000	0.0000	0	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0000
Deslimador	0.0000	0.0000	0	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0000
Centrifuga	0.0000	0.0000	0	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0000
TOTALES				302.87	274.62	28.25		
RESPUESTA								
SIGA DIENDO RESULTADOS								

FIGURA N° L.19: Respuesta (1) del Programa Reformado

	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
8										
9										
10	Contenido de	Vol. Aceite Desc.	Vol. Agua Desc.	ASG	% Hematita Desc.	% Barita Desc.	Hematita Desc.	Barita Desc.	CaCO <sub>3</sub> Desc.	Sol. de Perf. Desc.
11	Agua (%Agua)	Vol. Aceite Desc. (Gal/Hr)	Vol. Agua Desc. (Gal/Hr)	[Adimens]	Ver Tabla [Fr]	Ver Tabla [Fr]	[Lb/Hr]	[Lb/Hr]	[Lb/Hr]	M <sub>SP</sub> Per Desc. (Lb/Hr)
12	0.0000	0.65	0.00	2.1219	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	43.04
13	0.0000	0.66	0.00	2.1219	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	44.10
14	0.0000	0.88	0.00	2.1219	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	58.45
15	0.0000	0.68	0.00	2.1219	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	44.88
16	0.0000	0.68	0.00	2.1219	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	44.88
17	0.0000	0.00	0.00	0.0000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
18	0.0000	0.00	0.00	0.0000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
19	0.0000	0.59	0.00	2.1219	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	39.27
20	0.0000	0.00	0.00	0.0000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
21	0.0000	0.00	0.00	0.0000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
22	0.0000	0.00	0.00	0.0000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
23	-----	4.13	0.00	-----	-----	-----	0.00	0.00	0.00	274.62
24		0.098336022	0.0000000	RESPUESTA						
25		Bbls/Hr	Bbls/Hr	SIGA BIENDO RESULTADOS						
26										

FIGURA N° L. 20: Respuesta (2) del Programa Reformado

- Fecha: 19/01/02.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
4	<b>REPORTE DE EFICIENCIA DE CONTROL DE SOLIDOS</b>																					
6	TALADRO: XXXX																					
7	POZO: XXXX																					
8	FECHA INICIO PERFORACION 3/8/01																					
9	LOCACION: XXXX																					
10																						
11		PRIMARIOS																				
12	EQUIPOS	SHAKER				SHAKER				SHAKER				SHAKER				SHAKER				CENTRIFUGA
13	DESCRIPCION	1		2		3		4		5		3:1										
14	MALLAS	84	84	50	84	84	50	84	84	50	84	84	50	210	210	210	210					
15	D. ENTRANDO	9		9	9		9	9		9	9		9	9		9	9					
16	D. SALIENDO	9		9	9		9	9		9	9		9	9		9	9					
17	T.D. SOLIDOS (B) seg	345,00		345,00	309,00		323,00	318,00		320,00	320,00		320,00	320,00		320,00	320,00					
18	D. SÓLIDOS (B) (Peso)	14,90		14,90	14,90		14,90	14,90		14,90	14,90		14,90	14,90		14,90	14,90					
19	% VOL SÓLIDOS (Vs)	77,00		77,00	77,00		77,00	77,00		77,00	77,00		77,00	77,00		77,00	77,00					
20	% VOL LÍQUIDO (Vl)	23,00		23,00	23,00		23,00	23,00		23,00	23,00		23,00	23,00		23,00	23,00					
21																						
22	Sólidos Húmedos Descartados	38,87		38,87	43,40		41,52	42,17		42,17	41,91		41,91	41,91		41,91	41,91					
23	Sólidos Secos Descartados	34,77		34,77	38,82		37,13	37,72		37,72	37,48		37,48	37,48		37,48	37,48					
24	Lbh Líquido descartado	4,10		4,10	4,58		4,38	4,45		4,45	4,42		4,42	4,42		4,42	4,42					
25	% Eficiencia Individual	15,51		15,51	17,32		16,57	16,83		16,83	16,73		16,73	16,73		16,73	16,73					
26	ASG (GE prom)	2,1		2,1	2,1		2,1	2,1		2,1	2,1		2,1	2,1		2,1	2,1					
27	LG% Vol. [Fr]	1,0		1,0	1,0		1,0	1,0		1,0	1,0		1,0	1,0		1,0	1,0					
28																						
29	RPM MOTOR	1.800,00		1.800,00	1.800,00		1.800,00	1.800,00		1.800,00	1.800,00		1.800,00	1.800,00		1.800,00	1.800,00					
30	LONGITUD STROKE	0,16		0,16	0,16		0,16	0,16		0,16	0,15		0,15	0,15		0,15	0,15					
31	FUERZA G	7,4		7,4	7,4		7,4	7,4		7,4	6,9		6,9	6,9		6,9	6,9					

FIGURA N° L. 21: Datos y Resultados del Programa Comercial

### EQUIPOS DE CONTROL DE SÓLIDOS

**DESECHOS DE LOS EQUIPOS**

SOL. PEFF.	DENSIFICANTE	LODO
------------	--------------	------

HORA DE TOMA DE MUESTRA: 02:30 p.m.

TALADRO:	XXXX	PROFUNDIDAD:	16.100
POZOS:	XXXX	GPM:	0.2
FECHA:	11/01/2002	DENS. DEL LODO:	0
TIPO DE LODO:	ACEITE	GE. Agua:	1
DENSIFICANTE:	BAFETA	GE. Aceite:	0.821128
PIOP:	0	GE. Sol. Peff.:	2.6
Ú. mch:	0.02	GE. Desol.:	1.2

DENS. LODO:	0	MUY SENSIBLE MUY SENSIBLE
% VOL. LIQ.	0.0	
% VOL. ACEITE	0.0	
% ACEITE	0	

RESPUESTA: **DATA DEN**      RESPUESTA: **DATA DEN**      1.02000105

### D A T O S

Datos	DATOS SOL O PARA % SÓLIDOS PP				Dens. Líq. (lb/l)	T. Hum. (°F)	Vol. Líq. (gal)	% CUIDOS	Cont. De Aceite (lb)	Cont. De Agua (lb)	NOTA
	lb	g	g	g							
Zaranda N°1	0	0	0	0	0.0	34.5	0.25	0	0.2300	0.0000	NOTA: Zaranda Seco y centrifugado con incluidos en la eficiencia que solo maneja parte del total de todo
Zaranda N°2	0	0	0	0	0.0	34.0	0.25	0	0.2300	0.0000	
Zaranda N°3	0	0	0	0	0.0	30.0	0.25	0	0.2300	0.0000	
Zaranda N°4	0	0	0	0	0.0	32.5	0.25	0	0.2300	0.0000	
Zaranda N°5	0	0	0	0	0.0	38.0	0.25	0	0.2300	0.0000	
Zaranda N°6	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0000	0.0000	
Zaranda N°7	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0000	0.0000	
Malla 3 en 1	0	0	0	0	0.0	32.0	0.25	0	0.2300	0.0000	
Desarenador	No Aplica	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0000	0.0000	
Destilador	No Aplica	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0000	0.0000	
Centrifuga	No Aplica	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0000	0.0000	
Zaranda Peff. Seco	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0000	0.0000	
<b>TOTALES</b>											

RESPUESTA: **DATA DEN**

FIGURA N° L.22: Datos del Programa Reformado

### CALCULOS CUANDO SE TIENE EL % SOL. VIV

RESPUESTA: **APLICA ESTE METODO**

### RETORTA

Calculos	Contenido Liquido (%L)	Contenido de Sol Secos (%S)	GE del Liquido GE Liq. (Adm)	Sol. Hum. Desol. (lb/1000)	Sol. Secos Desol. (lb/1000)	Mass Liquid Desol. (lb/1000)	Contenido de Aceite (%Aceite)	Contenido de Agua (%Agua)
Zaranda N°1	0.2300	0.7700	0.821128	38.87	34.77	4.10	0.2300	0.0000
Zaranda N°2	0.2300	0.7700	0.821128	39.44	35.28	4.16	0.2300	0.0000
Zaranda N°3	0.2300	0.7700	0.821128	43.40	38.82	4.58	0.2300	0.0000
Zaranda N°4	0.2300	0.7700	0.821128	41.52	37.13	4.38	0.2300	0.0000
Zaranda N°5	0.2300	0.7700	0.821128	42.17	37.72	4.45	0.2300	0.0000
Zaranda N°6	0.0000	0.0000	0	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0000
Zaranda N°7	0.0000	0.0000	0	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0000
Malla 3 en 1	0.2300	0.7700	0.821128	41.91	37.48	4.42	0.2300	0.0000
Desarenador	0.0000	0.0000	0	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0000
Destilador	0.0000	0.0000	0	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0000
Centrifuga	0.0000	0.0000	0	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0000
<b>TOTALES</b>				247.30	221.19	26.11		

RESPUESTA: **SIGA SENDO RESULTADOS**

FIGURA N° L.23: Respuesta (1) del Programa Reformado

	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
9										
10	Contenido de	Vol. Acido Desc.	Vol. Agua Desc.	ASG	%Hemita Desc.	% Banta Desc.	Hemita Desc.	Banta Desc.	CaCO <sub>3</sub> Desc.	Sol. de Pes. Desc.
11	Agua (%Agua)	Vol. Agua Desc. (Gal/Hr)	Vol. Agua Desc. (Gal/Hr)	[Adimens]	Ver Tabla (Fr)	Ver Tabla (Fr)	[Lb/Hr]	[Lb/Hr]	[Lb/Hr]	[Mg/Ler Desc. (M/Hr)]
12	0.0000	0.60	0.00	2.0777	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	34.77
13	0.0000	0.61	0.00	2.0777	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	35.28
14	0.0000	0.67	0.00	2.0777	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	38.82
15	0.0000	0.64	0.00	2.0777	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	37.13
16	0.0000	0.65	0.00	2.0777	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	37.72
17	0.0000	0.00	0.00	0.0000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
18	0.0000	0.00	0.00	0.0000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
19	0.0000	0.65	0.00	2.0777	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	37.48
20	0.0000	0.00	0.00	0.0000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
21	0.0000	0.00	0.00	0.0000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
22	0.0000	0.00	0.00	0.0000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
23		3.82	0.00				0.00	0.00	0.00	221.19
24		0.090890755	0.00000000	RESPUESTA						
25		Bbls/Hr	Bbls/Hr	SIGA BIENDO RESULTADOS						
26										
27										

FIGURA N° L. 24: Respuesta (2) del Programa Reformado

# APÉNDICE M

## CÁLCULO DE LA EFICIENCIA TOMANDO EN CUENTA EL TIEMPO DE TOMA DE MUESTRA A LA SALIDA DEL POZO

- Sección de 17 1/2" del taladro

A continuación se presenta un ejemplo de cómo pequeñas variaciones en el tiempo afectan drásticamente el valor de la eficiencia. Se realizaron varios cálculos de eficiencia en las distintas sediciones de perforación y siempre los resultados eran iguales, que los reflejados en este ejemplo.

- Tiempo de toma de muestra de 1 segundo [1 seg]:

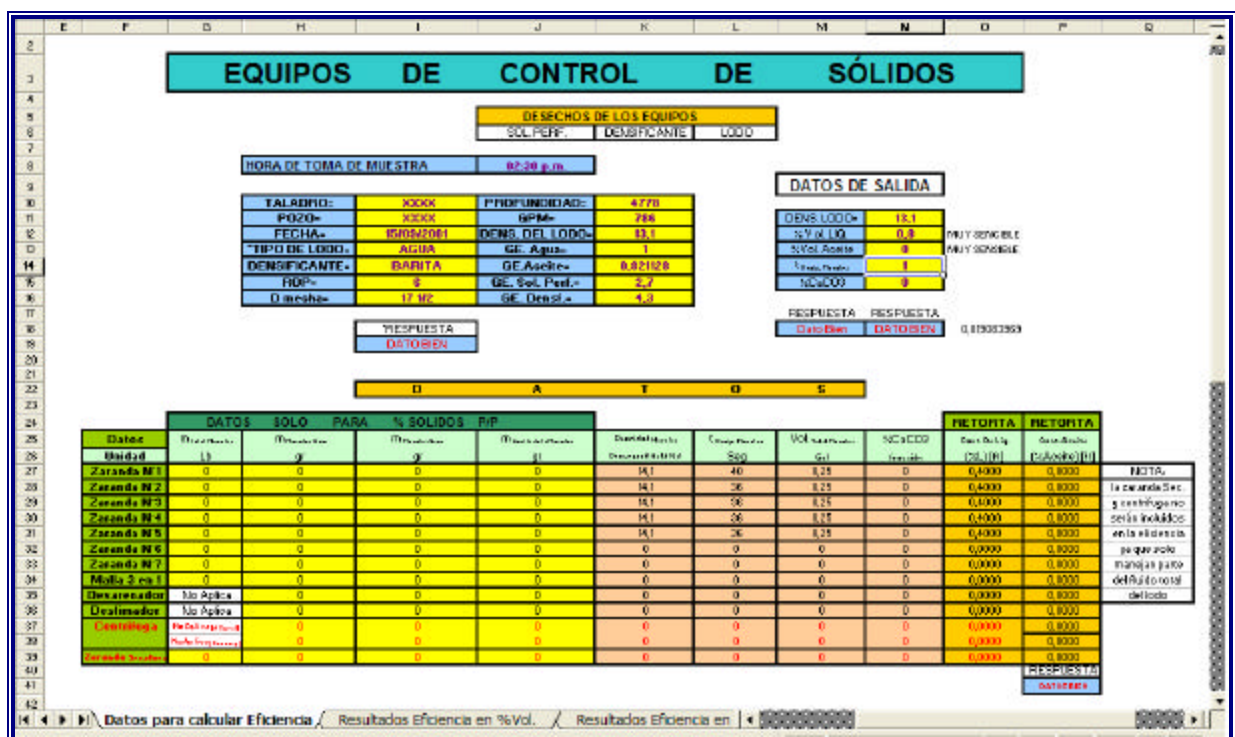


FIGURA M.1: Datos a la Salida del Pozo del Programa Reformado



FIGURA M.2: Resultados de los Flujos Másicos a la Salida, de la Eficiencia y De Los Porcentajes de Densificante y Líquido Descargado

- Tiempo de toma de muestra de 0,8 segundos [0,8 seg]:



FIGURA M. 3: Datos a La Salida del Pozo del Programa Reformado

	H	I	J	K	L	M	N	O	P
29									
30					<b>CALCULOS A LA SALIDA</b>				
31									
32		Contenido de Sol. Secos (%S)	0,2	Masa Líquid Desc. (Lb/Hr)	7497,00	Vol. Agua Desc. (Gal/Hr)	900	Hemotta Desc. (Lb/Hr)	0,00
33									
34		GE del Líquido GE Liq. (Adim)	1	Contenido de Aceite (%Aceite)	0	ASG (Adimens)	3,863145258	Barta Desc. (Lb/Hr)	5263,60
35									
36									
37		Sol. Ham. Desc. (Mol. Desc. (Lb/Hr))	14737,50	Contenido de Agua (%Agua)	0,8	%Hemotta Desc. Ver Tabla (Fr)	0	CaCO <sub>3</sub> Desc. (Lb/Hr)	0,00
38									
39		Sol. Sólidos Desc. (Mol. Desc. (Lb/Hr))	7240,50	Vol. Aceite Desc. (Mol. Desc. (Lb/Hr))	0	% Barta Desc. Ver Tabla (Fr)	0,726965785	Sol. de Perf. Desc. (Mol. Desc. (Lb/Hr))	1976,90
40									
41									
42									
43									
44		Sol De Perf. Generado (Lb/Hr)	1976,90	Densf en el Lodo (Lb/Hr)	5263,60	Líquido en el Lodo (Lb/Hr)	7497,00		
45									
46									
47									
48									
49					<b>CALCULO DE LA EFICIENCIA</b>				
50									
51									
52									
53									
54									
55									
56									
57									
58									

FIGURA M. 4: Resultados de los Flujos Másicos a La Salida, de La Eficiencia y de los Porcentajes de Densificante y Líquido Descargado



**APÉNDICE N****MANUAL DE USO DEL PROGRAMA DE CÁLCULO DE EFICIENCIA ELABORADO EN EL PRESENTE TRABAJO DE GRADO (EXCEL)**

Para la elaboración del presente programa se utilizó como herramienta de trabajo el programa Excel de Microsoft Office, el cual es una potente herramienta para analizar y procesar información, a través de hojas de cálculos que trabajan con aplicaciones macros, permitiendo la iteración con programas como Visual Basic.

Las ecuaciones utilizadas en este programa fueron las deducidas en el Apéndice I, y las mismas son aplicadas a datos obtenidos tanto en la descarga del sistema como en la salida del pozo. El nuevo concepto de eficiencia es introducido en este programa, por lo que se comparan los diferentes tipos de sólidos de la descarga del sistema con los de la salida del pozo.

Para compenetrar más al usuario con el manejo del programa, se presenta a continuación los pasos que deberán seguir para poder introducir los datos y luego para ver los resultados arrojados por el programa.

**INTRODUCCIÓN DE DATOS**

En esta sección se presenta el formato de introducción de datos utilizados para el cálculo de la eficiencia de un sistema de control de sólidos.

La Figura N° N- 1 muestra el primer formato a ser rellenado con los datos del taladro y de las propiedades del fluido y aditivos presentes en el lodo.


HORA DE TOMA DE MUESTRA		02:30 p.m.	
TALADRO=	XXXX	PROFUNDIDAD=	1000
POZO=	XXXX	GPM=	157,2
FECHA=	12/09/01	DENS. DEL LODO=	9
TIPO DE LODO=	EMULSIÓN	GE. Agua=	1
DENSIFICANTE=	CARBONATO	GE. Aceite=	0,821128
ROP=	7,6	GE. Sol. Perf.=	2,6
D mecha=	12 1/4	GE. Densf.=	4,26


FIGURA N° N- 1 Formato Inicial de Datos

A continuación se explicará el significado de los datos introducidos en cada casilla:

- **Hora de toma de muestra:** se coloca la hora a la cual fueron tomadas las muestras de salida y descarga.
- **Taladro:** se coloca el nombre del taladro donde se toma la muestra.
- **Pozo:** se coloca el nombre del pozo perforado por el taladro.
- **Fecha:** se coloca el día, mes y año de la toma de la muestra.
- **Tipo de lodo:** se coloca el nombre del tipo del lodo que se este utilizando para perforar. Ejemplo: semidisperso, aceite, agua, emulsión etc.
- **Densificante:** se coloca que tipo de densificante se esta utilizando para darle peso al lodo. Por ejemplo: Carbonato, Barita ò Hematina.
- **ROP:** se coloca el valor de la tasa de penetración del taladro al momento de tomar la muestra, pies/hr.
- **D mecha:** se coloca el valor del diámetro de la mecha con la cual se esta perforando al momento de tomar la muestra, pulg.

- **Profundidad:** se coloca la profundidad a la cual se esta perforando, al momento de tomar la muestra, Pies.
- **GPM** se coloca el valor de los galones de salida del pozo al momento de tomar la muestra, gpm.
- **Dens. del lodo:** se coloca el valor de densidad del lodo, con el cual se desea entrar al pozo, lpg.
- **GE agua:** se coloca el valor de la gravedad específica del agua presente en el fluido de perforación.
- **GE aceite:** se coloca el valor de gravedad específica del aceite presente en el lodo de perforación.
- **GE sol. perf.:** se coloca el valor aproximado de la gravedad específica de los sólidos provenientes de la formación.
- **GE densf:** se coloca el valor de la gravedad específica del densificante utilizado en el lodo de perforación para el momento en que se toma la muestra.

Una vez finalizado esta primera etapa de introducción de datos, se procederá a comenzar la segunda etapa, en donde se introducirán los datos de las propiedades a la salida, descarga y entrada del pozo, en las casillas de color amarillo  . La Figura N° N- 2 presenta el segundo formato de introducción de datos.

Actualmente no se poseen las herramientas para calcular algunos de los parámetros presentados en este formato, por lo cual de no tener dicho dato se procederá a colocar el valor de cero en la casilla. Las casillas de color morados  muestran los parámetros reconstruidos, a través de cálculos hechos por el programa a la entrada del pozo.

<b>POR CADA MINUTO</b>		<b>V salida del pozo</b> 157,2 Gal	<b>V salida al pozo y descarga</b> 157,2 Gal	RESPECTO A SOL. SECOS SIN SALES	RESPECTO A SOL. SECOS SIN SALES		
DESCRIPCIÓN	Densidad , lpg	% Vol. Agua , fracción	% Vol. Aceite , fracción	% Vol. solidos	% Vol. CaCO <sub>3</sub> [muestra seca]	Vol. Aditivos BG [muestra seca]	Concentración Cloruro [mg]
Salida	13,10	0,70	0,10	0,20	0,30	0,03	13000,00
Descarga	14,10	0,35	0,05	0,60	0,15	0,02	10000,00
Entrada	13,00	0,74	0,11	0,16	0,33	0,03	

RESPUESTA	RESPUESTA	RESPUESTA	RESPUESTA	RESPUESTA	RESPUESTA
DATO BIEN	DATO BIEN	DATO BIEN	DATO BIEN	DATO BIEN	DATO BIEN
DATO BIEN	DATO BIEN		DATO BIEN	DATO BIEN	DATO BIEN
DATO BIEN	DATO BIEN		DATO BIEN	DATO BIEN	DATO BIEN
	DATO BIEN		DATO BIEN	DATO BIEN	DATO BIEN

FIGURA N° N- 2: Segundo Formato de Datos

A continuación se explica el significado de los datos introducidos en cada casilla:

- **Densidad:** se coloca el valor de la densidad a la salida, descarga y entrada del pozo, lpg.
- **%Vol.Agua:** se coloca el valor de la fracción en volumen de agua presente en la muestra húmeda tomada a la descarga y salida del pozo.
- **%Vol.Aceite:** se coloca el valor de la fracción en volumen de aceite presente en la muestra húmeda tomada a la descarga y salida del pozo.
- **%Vol.CaCO<sub>3</sub>:** se coloca el valor de la fracción en volumen de carbonato presente en la muestra seca sin sales a la descarga y salida del pozo.
- **%Vol.Aditivos BG:** se coloca el valor de la fracción en volumen de aditivos de baja gravedad distintos de carbonato presente en la muestra seca sin sales tomada en la descarga y salida del pozo.
- **Concentración cloruro:** se coloca el valor de la concentración de cloruros presentes en la salmuera del lodo, a la descarga y salida del pozo.

Los condicionales presentes en esta sección indican si existe algún error conceptual al momento de introducir los datos, por esa razón se presenta cuando los condicionales pueden dar señales.

- **1ª condicional:** aquí se indica cuando la densidad de entrada es mayor o igual que la de salida, lo cual no debería ser posible, ya que el sistema esta quitando una cierta cantidad de sólidos que hace que la densidad del fluido disminuya. En la Figura N° N- 3 se muestra el condicional activado.

Densidad , lpg
13,10
14,10
13,20
RESPUESTA
VERIFICAR DENH. ENTRADA
DATO BIEN
DATO BIEN

FIGURA N° N- 3: 1ª Condicional

- **2ª Condicional:** aquí se indica cuando la densidad de descarga es menor o igual que la de salida, lo cual no debería ser posible, ya que el sistema esta quitando una cierta cantidad de sólidos que hace que la densidad de la descarga aumente. En la Figura N° N- 4 se muestra el condicional activado.

Densidad , lpg
13,10
12,90
13,00
RESPUESTA
DATO BIEN
VERIFICAR DENH. DESC
DATO BIEN

FIGURA N° N- 4: 2ª Condicional

- **3ª Condicional:** aquí se indica cuando los valores de densidades arrojan resultados negativos, por lo cual la combinación de las densidades no puede ser posible. En la Figura N° N- 5 se muestra el condicional activado.

Densidad , lpg
13,10
14,10
11,00
RESPUESTA
DATO BIEN
DATO BIEN
VERIFICAR DENS. DESC 4 ENTRADA

FIGURA N° N- 5: 3ª Condicional

- **4ª Condicional:** aquí se indica cuando la fracción de aceite ó agua de descarga son mayores que los de salida, lo cual no debería suceder ya que el sistema de remoción descarga menos líquido y más sólidos. En la Figura N° N- 6 se muestra el condicional activado.

% Vol. Agua , fracción
0,70
0,80
0,69
RESPUESTA
VERIFICAR %Aceite ó Agua. DESC
DATO BIEN
DATO BIEN
DATO BIEN

FIGURA N° N- 6: 4ª Condicional

- **5ª Condicional:** aquí se indica cuando los resultados arrojan una valor mayor que 1 en la suma de las fracciones de aceite y agua a la entrada. Por lo que se deberá verificar los valores de fracción de agua y aceite a la descarga ó salida; ó las densidades de los mismos. En la Figura N° N- 7 se muestra el condicional activado.

% Vol. Agua , fracción
0,98
0,10
1,07
RESPUESTA
DATO BIEN
VERIFICAR DENS
DATO BIEN
DATO BIEN

FIGURA N° N- 7: 5ª Condicional

- 6ª Condicional:** aquí se indica cuando el programa obtiene como resultado que el sistema descarga más aditivos de los que hay a la salida del pozo, lo cual es imposible, debido a que el sistema es cerrado y los equipos no fabrican aditivos, por lo cual se deberá verificar la fracción de aditivos a la salida ó descarga; ó las densidades; ó los porcentajes de agua y aceite. En la Figura N° N- 8 se muestra el condicional activado.

% Vol. Agua , fracción
0,70
0,35
0,74
RESPUESTA
DATO BIEN
DATO BIEN
VERIFICAR % Aceite ó Agua. Ó DENS
DATO BIEN

FIGURA N° N- 8: 6ª Condicional

- 7ª Conadicional:** indica cuando el programa obtiene como resultado gravedades específicas de los sólidos secos a la salida, descarga ó entrada mayores que la gravedad específica del densificante, por lo que se deberá verificar las fracciones de aceite ó agua; ó la gravedad especifica del densificante. En la Figura N° N- 9 se muestra el condicional activado.

% Vol. Agua , fracción
0,80
0,20
0,86
RESPUESTA
DATO BIEN
DATO BIEN
DATO BIEN
VERIFIQUE % Vol. Agua ó Aceite, Dens. Ó GE Densif

FIGURA N° N- 9: 7ª Condicional

- 8ª Condicional:** indica cuando el programa obtiene como resultado densificante en la descarga cuando a la salida no se tiene densificante, por lo que se deberá verificar las densidades, ó las fracciones de aceite ó agua. En la Figura N° N- 10 se muestra el condicional activado.

<b>% Vol. Aceite , fracción</b>
0,10
0,56
0,05
<b>RESPUESTA</b>
% Vol. Aceite ó Agua. Desc. Ó De

FIGURA N° N- 10: 8ª Condicional

- **9ª Condicional:** indica cuando se reporta agua a la descarga del sistema y no se reporta agua a la salida, lo cual no puede ser posible, entonces se deberá verificar las fracciones de agua en la descarga ó salida. En la Figura N° N- 11 se muestra el condicional activado.

<b>% Vol. solidos</b>
0,90
0,75
0,92
<b>RESPUESTA</b>
VERIFICAR % Vol. Aceite Desc
DATO BIEN
DATO BIEN
DATO BIEN

FIGURA N° N- 11: 9ª Condicional

- **10ª Condicional:** indica cuando el usuario coloca valores negativos en la fracción de agua a la salida ó descarga, por lo que se deberá corregir. En la Figura N° N- 12 se muestra el condicional activado.

<b>% Vol. solidos</b>
0,50
0,99
0,45
<b>RESPUESTA</b>
DATOS BIEN
VERIFICAR % Vol. Aceite
DATO BIEN
DATO BIEN

FIGURA N° N- 12: 10ª Condicional



- 11ª Condicional:** indica cuando se reporta aceite en la descarga ó salida y el tipo de lodo utilizado es base agua. Por lo que se deberá corregir la fracción de aceite ó verificar que el lodo sea de tipo emulsión. En la Figura N° N- 13 se muestra el condicional activado.

<b>% Vol. solidos</b>
0,50
0,75
0,48
<b>RESPUESTA</b>
DATOS BIEN
DATO BIEN
VERIFICAR TIPO DE LODO
DATO BIEN

FIGURA N° N- 13: 11ª Condicional

- 12ª Condicional:** indica cuando se obtiene como resultado la fracción de aceite mayor que la fracción de líquido el la entrada del pozo, por lo que se debe verificar las fracciones de agua y aceite en la salida y descarga. En la Figura N° N- 14 se muestra el condicional activado.

<b>% Vol. solidos</b>
0,20
0,60
-1,13
<b>RESPUESTA</b>
DATOS BIEN
DATO BIEN
DATO BIEN
VERIFICAR % Vol. Aceite

FIGURA N° N- 14: 12ª Condicional

- 13ª Condicional:** indica cuando las fracciones de carbonato y aditivos con respecto a la muestra seca sin las sales, esta sumando más de 1, por lo cual deberá corregirse las fracciones. En la Figura N° N- 15 se muestra el condicional activado.

RESPECTO A SOL. SECOS SIN SALES	
% Vol. CaCO <sub>3</sub> (muestra seca)	0,30
	0,99
	0,17
RESPUESTA	
VERIFIQUE LOS % CaCO <sub>3</sub> ó % Aditiv	
DATO BIEN	
DATO BIEN	
DATO BIEN	

FIGURA N° N- 15: 13ª Condicional

- 14ª Condicional:** indica cuando se obtiene como resultado sólidos de formación a la descarga mayores que los de salida del pozo, lo que es imposible, ya que el sistema es cerrado, por lo cual las fracciones de aditivos y carbonatos no son los correctos. En la Figura N° N- 16 se muestra el condicional activado.

RESPECTO A SOL. SECOS SIN SALES	
% Vol. CaCO <sub>3</sub> (muestra seca)	0,90
	0,15
	1,05
RESPUESTA	
DATO BIEN	
VERIFIQUE LOS % CaCO <sub>3</sub> ó % Aditiv	
DATO BIEN	
DATO BIEN	

FIGURA N° N- 16: 14ª Condicional

- 15ª Condicional:** indica cuando el usuario introduce valores de fracción de carbonato en la salida y descarga, y el densificante no es carbonato, por lo que se deberá corregir las fracciones de carbonato ó el tipo de densificante. En la Figura N° N- 17 se muestra el condicional activado.

RESPECTO A SOL. SECOS SIN SALES	
% Vol. CaCO <sub>3</sub> (muestra seca)	0,30
	0,15
	0,00
RESPUESTA	
DATO BIEN	
DATO BIEN	
VERIFIQUE LOS % CaCO <sub>3</sub> ó % Aditiv	
DATO BIEN	

FIGURA N° N- 17: 15ª Condicional

- **16ª Condicional:** indica cuando las fracciones de densificante y aditivos con respecto a la muestra seca sin las sales, esta sumando más de 1, por lo cual deberá corregirse la fracción de aditivo. En la Figura N° N- 18 se muestra el condicional activado.

RESPECTO A SOL SECOS SIN SALES	
% Vol. CaCO <sub>3</sub> (muestra seca)	0,30
	0,15
	0,33
RESPUESTA	
	DATO BIEN
	DATO BIEN
	DATO BIEN
	VERIFICAR % Aditivos

FIGURA N° N- 18: 16ª Condicional

- **17ª Condicional:** indica cuando la concentración de cloruros a la salida del pozo es demasiado alta. En la Figura N° N- 19 se muestra el condicional activado.

Concentración de cloruro (mg/l)	
	13000,00
	50000,00
RESPUESTA	
	Verificar la Concent. De Cloruro Deso
	DATO BIEN

FIGURA N° N- 19: 17ª Condicional

- **18ª Condicional:** indica cuando la concentración de cloruros a la descarga es demasiado alta. En la Figura N° N- 20 se muestra el condicional activado.

Concentración de cloruro (mg/l)	
	23000,00
	10000,00
RESPUESTA	
	DATO BIEN
	Verificar la Concent. De Cloruro Salid

FIGURA N° N- 20: 18ª Condicional

**RESULTADOS OBTENIDOS POR EL PROGRAMA**

En esta sección se presenta el formato de muestra de resultados utilizados para el cálculo de la eficiencia de un sistema de control de sólidos.

**DESCARGA:**

La Figura N° N- 21 muestra el primer formato resultados a la descarga del sistema.

DESCARGA				
GE Líquido	GE. Prom. Sol.	m sol. Secos lb	1,00	
0,977641	2,17	154,95		
m sales lb	m sol. Secos sin sales lb	m Densf lb	m sol. BG <small>(materia. Sol. Perf)</small> lb	m sol. perf lb
1,15	153,80	23,07	130,73	127,65
m Líquido lb	Vol. Líquido Gal	Vol. Aceite Gal	Vol. Agua Gal	% m sol perf
46,55	5,72	0,71	5,00	63,35
% m sol. BG aditivo	% m Densf	% Vol. Líquido	% Vol. Aceite	% Vol. Agua
1,53	11,45	40,00	5,00	35,00
%	%	%	%	%

FIGURA N° N- 21: Resultados a la Descarga

A continuación se explicará el significado de los resultados mostrados en cada casilla:

- **GE Líquido:** se reporta la gravedad específica del líquido.
- **GE Prom. Sol.:** se reporta la gravedad específica de los sólidos secos sin sales.
- **m sol. Secos:** se reporta el flujo másico de los sólidos secos, lb/min.
- **m sales:** se reporta el flujo másico de las sales presentes en la muestra, lb/min.

- **m<sub>sol. Secos sin sales</sub>**: se reporta el flujo másico de los sólidos secos sin sales, lb/min.
- **m<sub>Densf</sub>**: se reporta el flujo másico del densificante, lb/min.
- **m<sub>sol. BG (Aditivos+Sol. Perf)</sub>**: se reporta el flujo másico de los sólidos de baja gravedad que incluyen los aditivos (sin carbonato) y los sólidos de formación, lb/min.
- **m<sub>sol. Perf</sub>**: se reporta el flujo másico de los sólidos de formación, lb/min.
- **m<sub>Líquido</sub>**: se reporta el flujo másico del líquido, lb/min.
- **Vol<sub>Líquido</sub>**: se reporta la tasa de líquido, gpm.
- **Vol<sub>Aceite</sub>**: se reporta la tasa de aceite, gpm.
- **Vol<sub>Agua</sub>**: en esta casilla se reporta la tasa de agua, gpm.
- **%m<sub>sol. Perf</sub>**: en esta casilla se reporta el porcentaje de sólidos de formación presente en el flujo de la descarga, %.
- **%m<sub>sol. BG aditivos</sub>**: en esta casilla se reporta el porcentaje de aditivos de baja gravedad (Sin carbonato), presente en el flujo de la descarga, %.
- **%m<sub>Densf</sub>**: se reporta el porcentaje de densificante presente en el flujo de la descarga, %.
- **%Vol<sub>Líquido</sub>**: se reporta el porcentaje de líquido, presente en el flujo de la descarga, %.

- **%Vol Aceite**: se reporta el porcentaje de aceite, presente en el flujo de la descarga, %.
- **%Vol Agua**: se reporta el porcentaje de agua, presente en el flujo de la descarga, %.

**ENTRADA:**

La Figura N° N- 22 muestra el segundo formato de resultados a la entrada del pozo.

ENTRADA				
GE Líquido	GE. Prom. Sol.	% Vol.aceite , fracción	% Vol. Agua, fracción	% Vol. Líquido , fracción
0,977641	3,15	0,11	0,74	0,84
m sol. Secos sin sales	m Densf Entrada Lb	m sol. BG Aditivos.+ Sol: Perf Lb	m sol. Perf lb	m sol. BG Aditivos lb
793,33	261,07	532,26	506,92	25,34
m Líquido lb	Vol. Líquido Gal	Vol. Aceite Gal	Vol. Agua Gal	% m sol. Perf
1064,49	120,04	15,01	105,04	27,29
	130,71	16,34	114,37	%
% m sol. BG aditivo	% m Densf	% Vol. Líquido	% Vol. Aceite	% Vol. Agua
1,36	14,05	84,00	10,50	73,50
%	%	%	%	%

**FIGURA N° N- 22: Resultados a la Entrada**

A continuación se explicará el significado de los resultados mostrados de las casillas que no se halla definido anteriormente:

- **m sol. BG Aditivos**: en esta casilla se reporta el flujo másico de los aditivos de baja gravedad (sin carbonato), lb/min.
- **%Vol Líquido, fracción**: en esta casilla se reporta la fracción de líquido, presente en el flujo de la entrada, fracción.
- **%Vol Aceite fracción**: en esta casilla se reporta la fracción de aceite, presente en el flujo de la entrada, fracción.

- **%Vol Agua fracción:** en esta casilla se reporta la fracción de agua, presente en el flujo de la entrada, fracción.

**SALIDA:**

La Figura N° N- 23 muestra el tercer formato de resultados a la salida del pozo.

<b>SALIDA</b>				
GE Líquido	GE. Prom. Sol.	m sol. Secos lb	m sales lb	1,00
0,977641	3,95	1035,16	88,04	
0,3				
m sol. Secos sin sales l	m Densf Salida Lb	m sol. Perf + sol de BG Aditivos. Lb	m sol. Perf lb	m sol. BG Aditivos lb
947,12	284,14	662,99	634,57	28,41
%				
m Líquido lb	Vol. Líquido Gal	Vol. Aceite Gal	Vol. Agua Gal	% m sol. Perf
1024,16	125,76	15,72	110,04	30,81
%				
% m sol. BG aditivos	% m Densf	% Vol. Líquido	% Vol. Aceite	% Vol. Agua
1,38	13,80	80,00	10,00	70,00
%	%	%	%	%

**FIGURA N° N- 23: Resultados a la Salida**

El significado de los resultados mostrados de las casillas ya fueron definidos anteriormente.

**EFICIENCIA:**

La Figura N° N- 24 muestra el cuarto formato de resultados de la eficiencia del sistema de control de sólidos.

m sol secos sin salessalida	947,12
m sol perf salida	634,57
error=	0,000000000000
<b>EFICIENCIA DEL SCS</b>	
20,11588364	%
<b>% m Aditivos descartado por el SCS</b>	
10,82541529	%
<b>% m Densificante descartado por el SCS</b>	
8,119061469	%
<b>% Vol. Líquido descartado por el SCS</b>	
4,545454545	%

FIGURA N° N- 24: Cuarto Formato de Resultados

A continuación se explicará el significado de los resultados mostrados en cada casilla:

- **m sol. Secos sin sales Salida :** en esta casilla se reporta el flujo másico de los sólidos secos sin sales a la salida del pozo, calculado a través de la entrada y descarga, lb/min.
- **m sol. Perf:** en esta casilla se reporta el flujo másico de los sólidos de formación a la salida el pozo, calculado a través de la entrada y descarga, lb/min.
- **error:** en esta casilla se reporta el error que existe entre el flujo másico de los sólidos de formación a la salida el pozo y la sumatoria del mismo flujo, pero calculado a través de la entrada y descarga, fracción.



- **Eficiencia del SCS:** en esta casilla se reporta la eficiencia del sistema de control de sólidos, al relacionar los sólidos de formación a la salida del pozo con los sólidos de formación en la descarga, %.
- **%m Aditivos:** en esta casilla se reporta el porcentaje de aditivos de baja gravedad (sin carbonato), descartados por el sistema con respecto a los aditivos presentes en la salida del pozo.
- **%m Densificante:** en esta casilla se reporta el porcentaje de densificante, descartados por el sistema con respecto al densificante presentes en la salida del pozo.
- **%Vol Líquido:** en esta casilla se reporta el porcentaje en volumen de líquido, descartados por el sistema con respecto al volumen de líquido en la salida del pozo.

# APÉNDICE O

## MANUAL DE USO DEL PROGRAMA DE CÁLCULO DE EFICIENCIA ELABORADO EN EL PRESENTE TRABAJO DE GRADO (DELPHI “AMBIENTE WINDOWS”)

Para la elaboración del presente programa se utilizó como herramienta de trabajo el programa Delphi, el cual permite a los programadores de aplicaciones Windows a desarrollar trabajos en tiempos record, sin perder ninguna posibilidad que pudiese ofrecer las demás herramientas de procesos. Este programa utiliza el lenguaje Pascal como el principal programador y tiene la ventaja de crear ventanas, botones y otros accesorios de ambiente Windows.

Las ecuaciones utilizadas en este programa fueron las deducidas en el Apéndice I, y las mismas son aplicadas a datos obtenidos tanto en la descarga como en la salida del pozo. El nuevo concepto de eficiencia es introducido en este programa, por lo que se comparan los diferentes tipos de sólidos de la descarga con los de la salida del pozo.

Para compenetrar más al usuario con el manejo del programa, se presenta a continuación los pasos que deberá seguir para poder introducir los datos y luego para ver los resultados arrojados por el programa.

### PRESENTACIÓN DEL PROGRAMA

En esta sección se presenta el formato de presentación del nuevo programa de cálculo de la eficiencia de un sistema de control de sólidos, elaborado en el presente trabajo.

La Figura N° O- 1 muestra la presentación del nuevo programa.

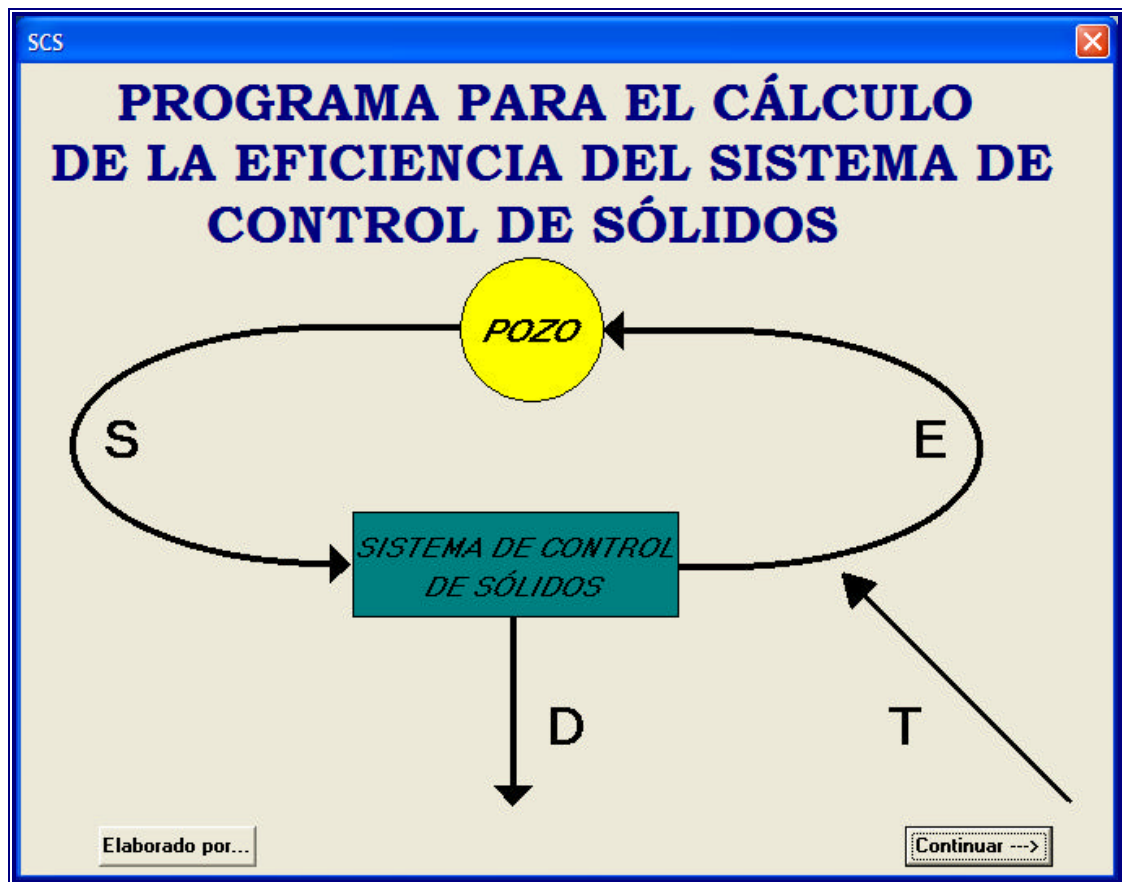


FIGURA N° O- 1: PRESENTACIÓN DEL NUEVO PROGRAMA.

En la Figura N° O- 1 se muestra un dibujo del pozo y del sistema de control de sólidos, tal como se planteó en el estudio global del sistema. **Nota:** El dibujo podrá presentar algunos contrastes en el fondo debido a los colores utilizado por la computadora en donde se corra el programa. También se pueden observar 2 pestañas en donde se muestra lo siguiente:

- **Elaborado por...:** al hacer click aquí se abrirá la ventana mostrada en la Figura N° O- 2, donde se presenta los nombres de las personas que diseñaron el presente programa.

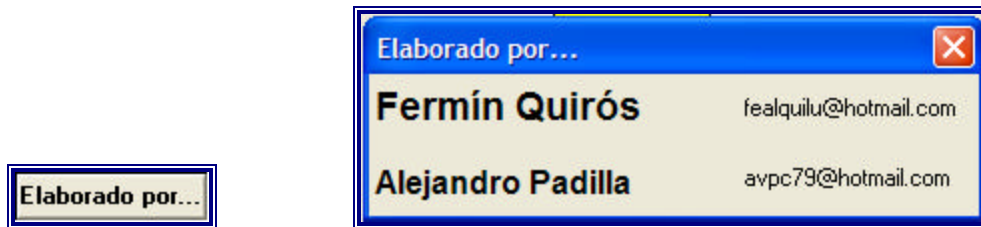


FIGURA N° O- 2: Diseñadores del Programa

- **Continuar** →: al hacer clic aquí se abrirá la ventana principal del programa de eficiencia, tal como se ilustra en la Figura N° O- 3.

FIGURA N° O- 3: Ventana Principal del Programa

En la ventana principal se muestra en la primera pestaña de “**Datos Generales**”, en donde se procederá a introducir los datos del taladro y de las propiedades del fluido y aditivos presentes en el lodo.

A continuación se explicará el significado de los datos introducidos en cada casilla:

- **Taladro:** se coloca el nombre del taladro donde se toma la muestra.
- **Pozo:** se coloca el nombre del pozo perforado por el taladro.

- **Fecha:** se coloca el día, mes y año de la toma de la muestra.
- **Tipo de lodo:** se coloca el nombre del tipo del lodo que se este utilizando para perforar. Ejemplo: semidisperso, aceite, agua, emulsión etc.
- **Densificante:** se coloca que tipo de densificante se esta utilizando para darle peso al lodo. Por ejemplo: Carbonato, Barita ò Hematina.
- **ROP:** se coloca el valor de la tasa de penetración del taladro al momento de tomar la muestra, pies/hr.
- **D mecha:** se coloca el valor del diámetro de la mecha con la cual se esta perforando al momento de tomar la muestra, pulg.
- **Profundidad:** se coloca la profundidad a la cual se esta perforando, al momento de tomar la muestra, pies.
- **GPM:** se coloca el valor de los galones de salida del pozo al momento de tomar la muestra, gpm.
- **Dens. del lodo:** se coloca el valor de densidad del lodo, con el cual se desea entrar al pozo, lpg.
- **GE agua:** se coloca el valor de la gravedad específica del agua presente en el fluido de perforación.
- **GE aceite:** se coloca el valor de gravedad específica del aceite presente en el lodo de perforación.

- **GE sol. perf.:** se coloca el valor aproximado de la gravedad específica de los sólidos provenientes de la formación.
- **GE densf:** se coloca el valor de la gravedad específica del densificante utilizado en el lodo de perforación para el momento en que se toma la muestra.

Luego en la ventana principal se muestra la segunda pestaña de “**Datos de Retorta del Pozo**”, donde se procederá a introducir los datos de la salida , descarga y entrada del pozo, tal como se ilustra en la Figura N° O- 4.

	Densidad (lpg)	Fracción Vol. Agua	Fracción Vol. Aceite	Fracción Vol. Sólidos	Fracción CaCO3	Fracción Ádt	Cloruro
<b>S</b> Salida del pozo	12,5	0,4	0,3	0,4	0,4	0,15	1500
<b>D</b> Descarga	17	0,3	0,15	0,8	0,3	0,03	800
<b>E</b> Entrada del pozo	12,3						

FIGURA N° O- 4: VENTANA DE INTRODUCCIÓN DE DATOS DE RETORTA DEL POZO.

A continuación se explicará el significado de los datos introducidos en cada casilla:

- **Densidad:** se coloca el valor de la densidad a la salida, descarga y entrada del pozo, lpg.

- **%Vol.Agua:** se coloca el valor de la fracción en volumen de agua presente en la muestra húmeda tomada a la descarga y salida del pozo.
- **%Vol.Aceite:** se coloca el valor de la fracción en volumen de aceite presente en la muestra húmeda tomada a la descarga y salida del pozo.
- **%Vol.Sol:** se coloca el valor de la fracción en volumen de sólidos presente en la muestra húmeda tomada a la descarga y salida del pozo.
- **%Vol.CaCO<sub>3</sub>:** se coloca el valor de la fracción en volumen de carbonato presente en la muestra seca sin sales a la descarga y salida del pozo.
- **%Vol.Aditivos BG:** se coloca el valor de la fracción en volumen de aditivos de baja gravedad distintos de carbonato presente en la muestra seca sin sales tomada en la descarga y salida del pozo.
- **Concentración cloruro:** se coloca el valor de la concentración de cloruros presentes en la salmuera del lodo, a la descarga y salida del pozo.

Una vez terminado de introducir todos los datos se procederá a presionar el botón de calcular, mostrado en Figura N° O- 5. Y de no haber ninguna inconsistencia se procederá a mostrar los resultados del programa. Por esa razón, se presentan a continuación los posibles condicionales que avisaran cuando un dato deba ser verificado:

- **1ª condicional:** cuando este condicional aparece indica que la densidad de entrada es mayor o igual que la de salida, lo cual no debería ser posible, ya que el sistema esta quitando una cierta cantidad de sólidos que hace que la densidad del fluido disminuya. En la Figura N° O- 5 se muestra el condicional activado.

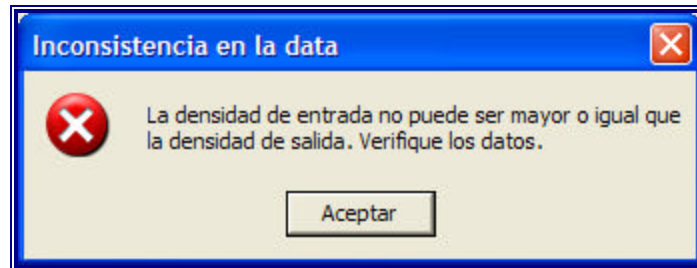


FIGURA N° O- 5: 1ª CONDICIONAL.

A continuación se presentan los posibles condicionales que podrían presentarse:

- **2ª Condicional:** aquí se indica cuando la densidad de descarga es menor o igual que la de salida, lo cual no debería ser posible, ya que el sistema esta quitando una cierta cantidad de sólidos que hace que la densidad de la descarga aumente.
- **3ª Condicional:** aquí se indica cuando los valores de densidades arrojan valores negativos en los resultados, por lo cual la combinación de las densidades no puede ser posible.
- **4ª Condicional:** aquí se indica cuando los valores de porcentaje de aceite ó agua de descarga son mayores que los de salida, lo cual no debería suceder ya que el sistema de remoción descarga menos líquido y más sólidos.
- **5ª Condicional:** aquí se indica cuando los resultados arrojan una valor mayor que 1 en la suma de las fracciones de aceite y agua a la entrada. Por lo que se deberá verificar los valores de fracción de agua y aceite a la descarga ó salida; ó las densidades.



- **6ª Condicional:** aquí se indica cuando el programa obtiene como resultado que el sistema descarga más aditivos de los que hay a la salida del pozo, lo cual es imposible, debido a que el sistema es cerrado y los equipos no fabrican aditivos, por lo cual se deberá verificar los porcentajes de aditivos a la salida ó descarga; ó las densidades; ó los porcentajes de agua y aceite.
- **7ª Conadicional:** indica cuando el programa obtiene como resultado gravedades específicas de los sólidos secos a la salida, descarga ó entrada mayores que la gravedad específica del densificante, por lo que se deberá verificar las fracciones de aceite ó agua; ó la gravedad específica del densificante.
- **8ª Condicional:** indica cuando el programa obtiene como resultado densificante en la descarga cuando a la salida no se tiene densificante, por lo que se deberá verificar las densidades, ó las fracciones de aceite ó agua.
- **9ª Condicional:** indica cuando se reporta agua a la descarga del sistema y no se reporta agua a la salida, lño cual no puede ser posible, entonces se deberá verificar las fracciones de agua en la descarga ó salida. En la Figura N° N- 11 se muestra el condicional activado.
- **10ª Condicional:** indica cuando el usuario coloca valores negativos en la fracción de agua a la salida ó descarga, por lo que se deberá corregir. En la Figura N° N- 12 se muestra el condicional activado.
- **11ª Condicional:** indica cuando se reporta aceite en la descarga ó salida y el tipo de lodo utilizado es base agua. Por lo que se deberá corregir la fracción de aceite ó verificar que el lodo sea de tipo emulsión. En la Figura N° N- 13 se muestra el condicional activado.

- **12ª Condicional:** indica cuando se obtiene como resultado la fracción de aceite mayor que la fracción de líquido en la entrada del pozo, por lo que se debe verificar las fracciones de agua y aceite en la salida y descarga. En la Figura N° N- 14 se muestra el condicional activado.
- **13ª Condicional:** indica cuando las fracciones de carbonato y aditivos con respecto a la muestra seca sin las sales, esta sumando más de 1, por lo cual deberá corregirse las fracciones. En la Figura N° N- 15 se muestra el condicional activado.
- **14ª Condicional:** indica cuando se obtiene como resultado sólidos de formación a la descarga mayores que los de salida del pozo, lo que es imposible, ya que el sistema es cerrado, por lo cual las fracciones de aditivos y carbonatos no son los correctos. En la Figura N° N- 16 se muestra el condicional activado.
- **15ª Condicional:** indica cuando el usuario introduce valores de fracción de carbonato en la salida y descarga, y el densificante no es carbonato, por lo que se deberá corregir las fracciones de carbonato ó el tipo de densificante. En la Figura N° N- 17 se muestra el condicional activado.
- **16ª Condicional:** indica cuando las fracciones de densificante y aditivos con respecto a la muestra seca sin las sales, esta sumando más de 1, por lo cual deberá corregirse la fracción de aditivo. En la Figura N° N- 18 se muestra el condicional activado.
- **17ª Condicional:** indica cuando la concentración de cloruros a la salida del pozo es demasiado alta. En la Figura N° N- 19 se muestra el condicional activado.
- **18ª Condicional:** indica cuando la concentración de cloruros a la descarga es demasiado alta. En la Figura N° N- 20 se muestra el condicional activado.

## RESULTADOS OBTENIDOS POR EL PROGRAMA

Si todos los datos introducidos están bien conceptualmente, se procederá a mostrar la Ventana principal de resultados del programa de cálculo de la eficiencia del sistema de control de sólidos, ilustrada en la Figura N° O- 6 .

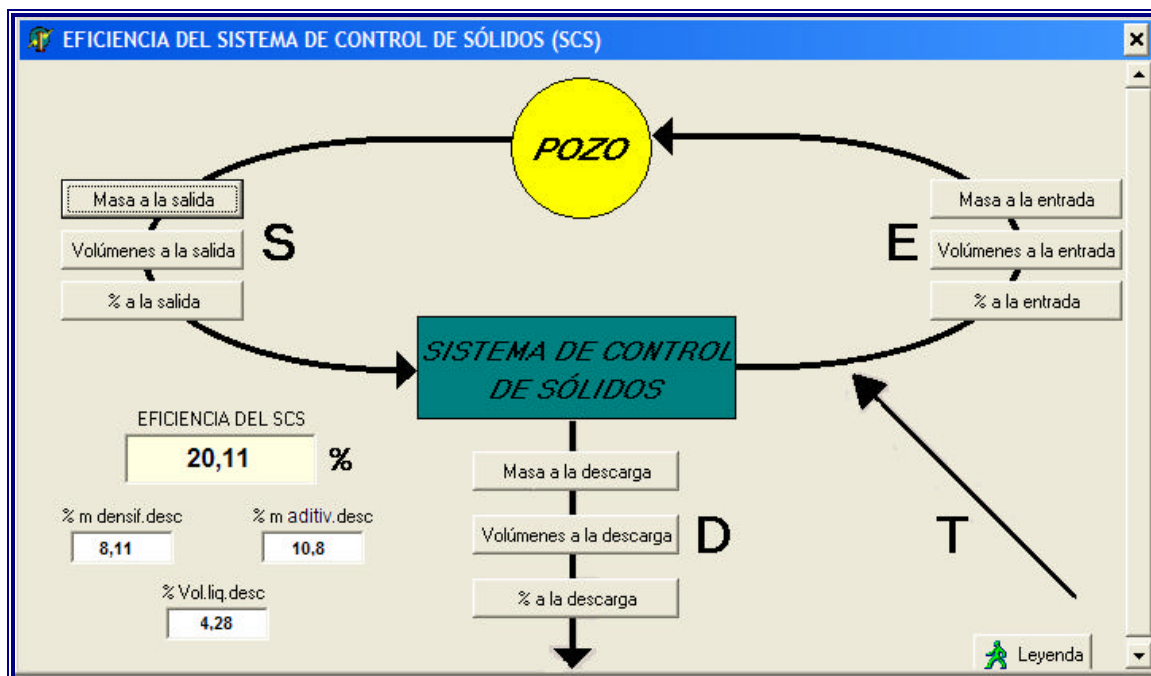


FIGURA N° O- 6: 1ª VENTANA DE RESULTADOS

A continuación se explicará el significado de los resultados mostrados en cada casilla:

- **Eficiencia del SCS:** en esta casilla se reporta la eficiencia del sistema de control de sólidos, al relacionar los sólidos de formación a la salida del pozo con los sólidos de formación en la descarga, %.
- **%m Aditivos:** en esta casilla se reporta el porcentaje de aditivos de baja gravedad (sin carbonato), descartados por el sistema con respecto a los aditivos presentes en la salida del pozo.

- **%m Densificante:** en esta casilla se reporta el porcentaje de densificante, descartados por el sistema con respecto al densificante presentes en la salida del pozo.
- **%Vol Líquido:** en esta casilla se reporta el porcentaje en volumen de líquido, descartados por el sistema con respecto al volumen de líquido en la salida del pozo.

En las ventanas de las siguientes Figuras se muestran las masas de los diferentes tipos de sólidos presentes en la descarga, salida y entrada. Así como los volúmenes de líquidos como aceite y agua, y finalmente se muestra los porcentajes de aditivos, densificantes, sólidos de perforación y líquido. El significado de cada parámetro se describe en la Figura N° O- 10.



FIGURA N° O- 7: 1ª VENTANA DE RESULTADOS SECUNDARIAS



FIGURA N° O- 8: 1ª VENTANA DE RESULTADOS SECUNDARIAS

Porcentajes a la salida	Porcentajes a la descarga	Porcentajes a la entrada
% m sol.perf: 27,78	% m sol.perf: 78,28	% m sol.perf: 8,35
% m aditivos: 10,33	% m aditivos: 0,00	% m aditivos: 14,30
% m densif: 20,91	% m densif: 0,00	% m densif: 28,95
% Vol.Liq: 70,00	% Vol.Liq: 40,00	% Vol.Liq: 80,00
% Vol.Aceite: 20,00	% Vol.Aceite: 5,00	% Vol.Aceite: 25,00
% Vol.Agua: 50,00	% Vol.Agua: 35,00	% Vol.Agua: 55,00

FIGURA N° O-9: 1ª VENTANA DE RESULTADOS SECUNDARIAS

**Leyenda**

Ms: Flujo másico a la salida del pozo (lb/min)  
 Msales: Flujo másico de las sales a la salida del pozo (lb/min)  
 Msss: Flujo másico de los sólidos secos sin sales a la salida del pozo (lb/min)  
 Mlqs: Flujo másico del líquido a la salida del pozo (lb/min)  
 Msags: Flujo másico de los sólidos de alta gravedad a la salida del pozo (lb/min)  
 Msbgs: Flujo másico de los sólidos de baja gravedad a la salida del pozo (lb/min)  
 MCaCO3.s: Flujo másico de carbonato a la salida del pozo (lb/min)  
 Madits: Flujo másico de aditivos a la salida del pozo (lb/min)  
 Msol.perf.s : Flujo másico de los sólidos de perforación a la salida del pozo (lb/min)

Vs: Tasa a la salida del pozo (gpm)  
 Vsss: Tasa de los sólidos secos a la salida del pozo (gpm)  
 Vlqs: Tasa de líquido a la salida del pozo (gpm)  
 Vacc: Tasa de aceite a la salida del pozo (gpm)  
 Vags: Tasa de agua a la salida del pozo (gpm)

NOTA: La "s" al final de cada variable indica que esta pertenece a la salida por lo tanto cuando los resultados sean de entrada se denotará con la letra "e" y con la letra "d" para los resultados a la descarga.

% m sol.perf: Porcentaje en peso de sólidos de perforación (%)  
 % m aditivos: Porcentaje en peso de aditivos de baja gravedad (%)  
 % m densif: Porcentaje en peso de densificante (%)  
 % Vol.Liq: Porcentaje en volumen de líquido (%)  
 % Vol.Aceite: Porcentaje en volumen de aceite (%)  
 % Vol.Agua: Porcentaje en volumen de agua (%)


 Leyenda

FIGURA N° O-10: 1ª VENTANA DE LEYENDA .

## APÉNDICE P

### GRÁFICOS DE RANGO DE SÓLIDOS PERMITIDO PARA DISTINTOS TIPOS DE LODOS

- **Lodos no Dispersos:** El contenido de sólido permitido es más crítico, por lo que se deberán emplear los valores que aparecen en la siguiente tabla P.1 [5]:

**TABLA N° P. 1: Sólidos Acceptables para Lodos no Dispersos**

LISTA DE INSPECCIÓN DE SÓLIDOS PARA EL DIAGNOSTICO Y TRATAMIENTO DE SISTEMAS DE LODO NO DISPERSOS				
Densidad del Lodo (lpg)	Bentonita (lg/bbl)	RANGO ACEPTABLE PARA		
		Sólidos Totales (%)	Barita (lb/bbl)	Sólidos de Perforación (lb/bbl)
9.0	14	3-4	29-13	0-28
9.5	14	5-7	60-32	0-28
10.0	14	7-8	83-64	0-28
10.5	14	9-11	115-85	0-28
11.0	14	11-12	138-115	0-28
11.5	14	12-14	160-136	0-28
12.0	13	14-16	194-166	0-26
12.5	13	16-18	230-200	0-26
13.0	12	18-20	249-218	0-24
13.5	11	20-22	270-246	0-22
14.0	10	22-24	300-269	0-20
14.5	10	24-26	336-306	0-20
15.0	9	25-27	360-335	0-13
15.5	9	27-29	380-358	0-18
16.0	8	29-30	420-400	0-16

- Lodos Base Agua con Dispersantes [5].

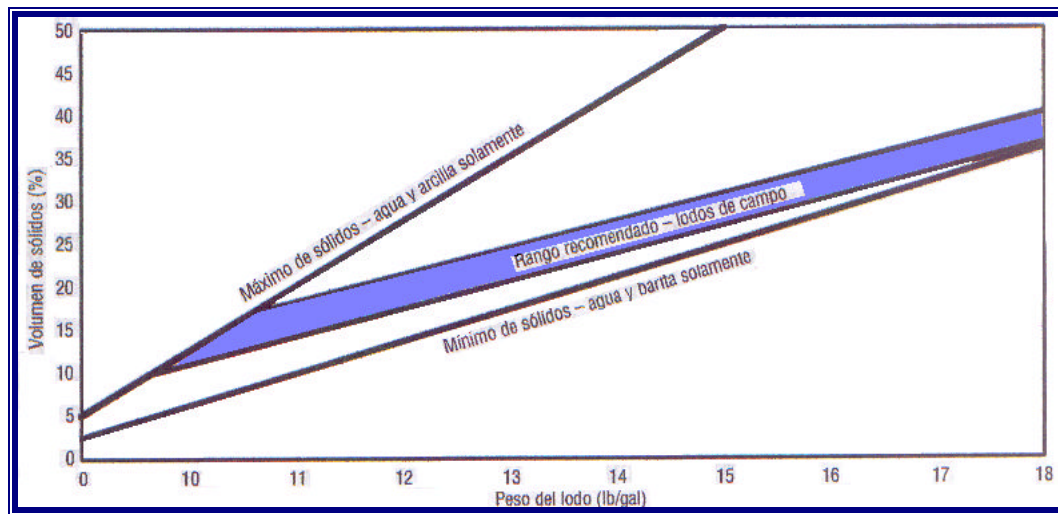


FIGURA N° P. 1: Rango Recomendado de Sólidos en los Lodos Base Agua

- Sólidos permitidos en lodos no densificados [5]:

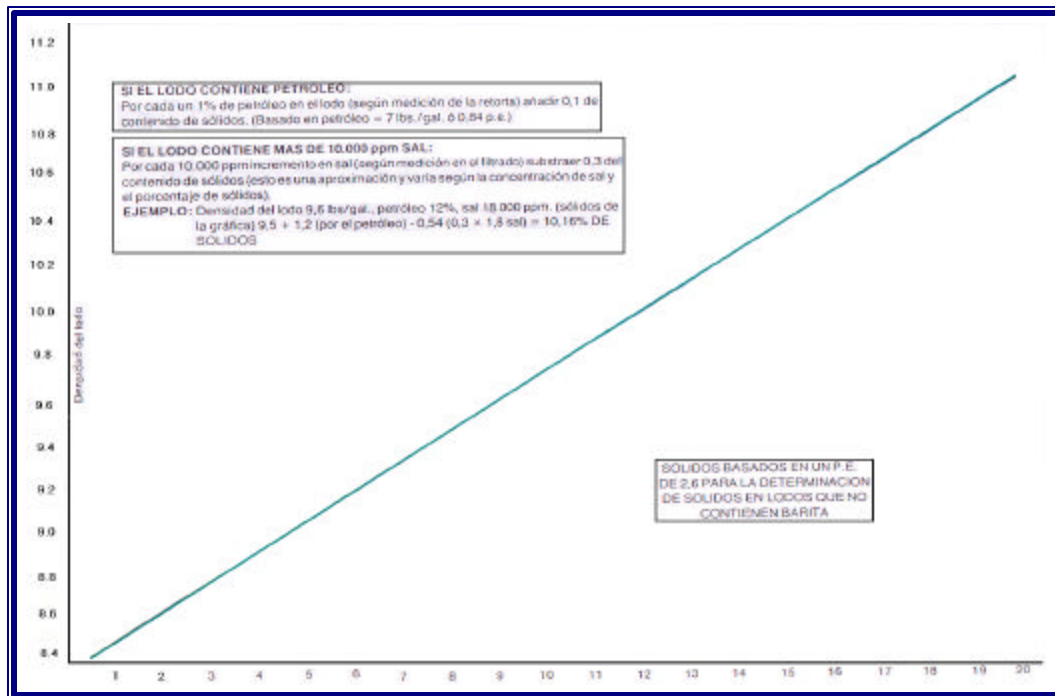


FIGURA N° P. 2: Sólidos Permitidos en Lodos no Densificados

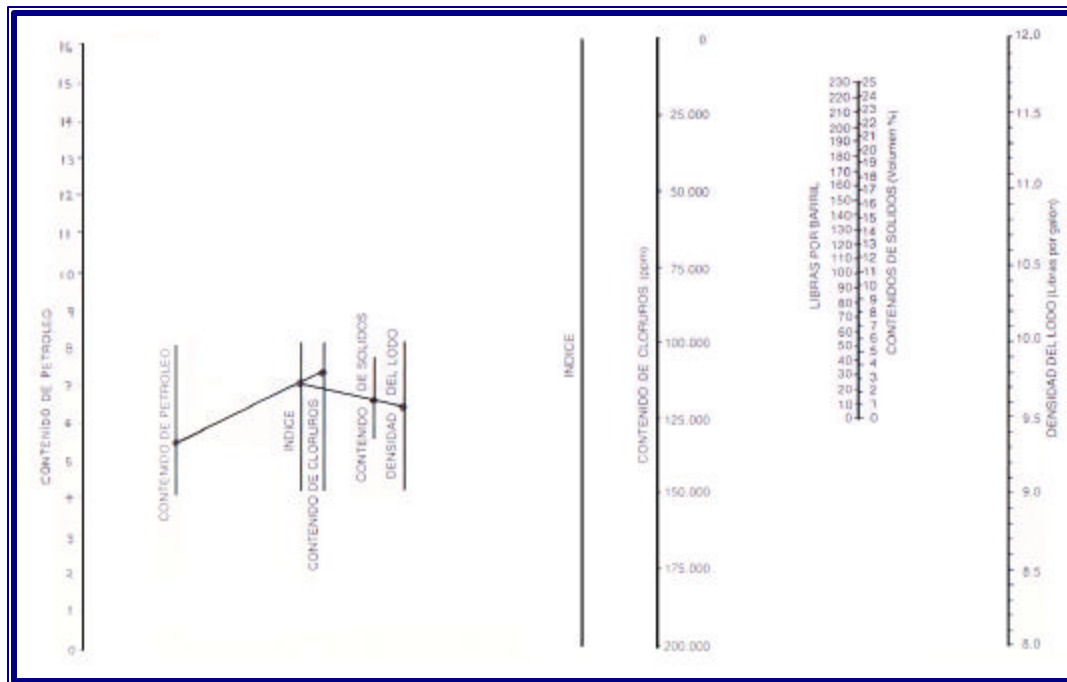


FIGURA N° P. 3: Sólidos Recomendados para Lodos de Baja Densidad

- Gráfico para determinar la barita y sólidos de baja gravedad en sistemas de lodo densificados [5]:

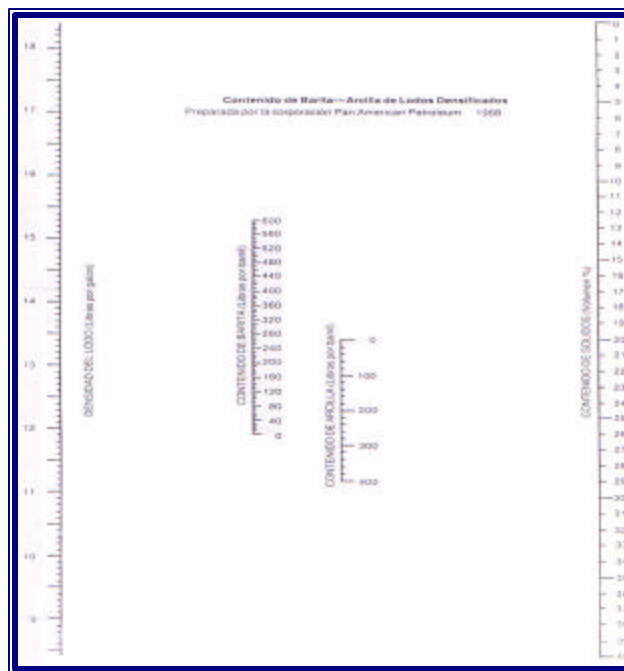


FIGURA N°2. 4: Barita y Sólidos de Baja Gravedad en Lodos Densificados