



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA  
EQUINOCCIAL**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**

**CARRERA DE TECNOLOGÍA DE PETRÓLEOS**

**“TRATAMIENTO DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN BASE AGUA  
QUE SE ENCARGA DE SEPARACIÓN DE CORTES Y  
POLÍMEROS PARA CUMPLIR CON LA REGLAMENTACIÓN  
AMBIENTAL EN EL ÁREA DE SACHA CENTRAL”**

**TESIS DE GRADO**

**PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE TECNÓLOGO EN PETRÓLEOS**

**AUTOR:**

**DAVID SANTIAGO RODRÍGUEZ VALVERDE**

**DIRECTOR:**

**ING. PATRICIO JARAMILLO, MSc.**

**QUITO-ECUADOR**

**Septiembre - 2011**

Quito, 24 de Marzo de 2011

## **DECLARACIÓN**

Yo, David Santiago Rodríguez Valverde, declaro bajo juramento que el trabajo aquí escrito autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado profesional; y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

-----

**David Santiago Rodríguez Valverde**

**172123107-2**

## **CERTIFICADO DE DIRECTOR DE TESIS**

Quito, 16 de Marzo del 2011

Sr. Ing. MBA. MSc.  
Jorge Viteri Moya  
DECANO  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL  
Presente

De mi consideración:

Me permito informarle que la tesis : “ TRATAMIENTO DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN BASE AGUA QUE SE ENCARGA DE LA SEPARACIÓN DE CORTES Y POLÍMEROS PARA CUMPLIR CON LA REGLAMENTACIÓN AMBIENTAL EN EL ÁREA DE SACHA CENTRAL”, realizada por el señor David Santiago Rodríguez Valverde, previo a la obtención del título de TECNÓLOGO EN PETRÓLEOS, ha sido concluida bajo mi dirección y autoría, por lo tanto muy comedidamente solicito a su autoridad el tramite subsiguiente.

Por la atención a la presente, le anticipo mi agradecimiento

Atentamente,

Ing. Patricio Jaramillo MSc.

DIRECTOR

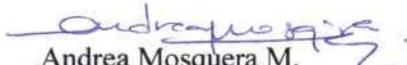
Quito, 09 de Marzo del 2011

**CERTIFICADO**

Por medio del presente certifico que el Señor David Santiago Rodríguez Valverde, con N° de Cédula: 172123107-2, realizó pasantías para su trabajo de tesis "*Tratamiento de Fluidos de Perforación Base Agua que se encarga de separar cortes y polímeros para cumplir con la Normativa Ambiental en el área de Sacha Central*", en nuestra compañía Tuboscope Vetco International Inc., desde el 08 de Febrero del 2011 al 07 de Marzo del 2011.

El Señor David Santiago Rodríguez Valverde, puede hacer uso de este certificado como lo estime conveniente.

Atentamente,

  
Andrea Mosquera M.  
RECURSOS HUMANOS

## **DEDICATORIA**

A Dios mi fuerza y mi apoyo incondicional en cada momento de mi vida.

A mi esposa y a mi hija que han sido el motivo por el cual quiero ser cada día mejor.

A mi familia en especial a mis padres, pilares fundamentales de mi formación, quienes han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento ya que son una familia ejemplar que amo con todo mi corazón.

A la familia Jara Viteri, que han sido un gran apoyo en todo momento.

**David Rodríguez V.**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por darme la oportunidad de vivir y culminar con éxito mis estudios profesionales.

Con mucho cariño principalmente a mis padres que me dieron la vida y han estado conmigo en todo momento. Gracias por todo Papá y Mamá, por darme una carrera para mi futuro y por apoyarme siempre, Gracias por su esfuerzo en todos esos momentos difíciles tanto económica como social y académicos que supieron sobrellevar en mi camino hacia este gran paso de mi vida.

Mi reconocimiento y agradecimiento al Señores Ingeniero: Patricio Jaramillo que junto a un grupo profesional nos han educado en tan prestigiosa institución.

Un agradecimiento muy especial a Tuboscope Vetco International Inc. y a sus Ejecutivos, por brindarme las facilidades y la apertura para la elaboración de mi tesis.

A mis profesores a quienes les debo gran parte de mis conocimientos, gracias a su paciencia y enseñanza y finalmente un eterno agradecimiento a la prestigiosa Universidad Tecnológica Equinoccial la cual abre sus puertas a jóvenes como nosotros, preparándonos para un futuro competitivo y formándonos como personas de bien.

A todas aquellas personas que hicieron posible la elaboración de esta tesis,

Mil Gracias!!

**David Rodríguez V.**

## ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN .....	II
CERTIFICADO DE DIRECTOR DE TESIS .....	III
CERTIFICADO DE LA EMPRESA .....	IV
DEDICATORIA .....	V
AGRADECIMIENTO .....	VI
ÍNDICE GENERAL.....	VII
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	VII
ÍNDICE DE TABLAS .....	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIV
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	XVI
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XVIII
RESUMEN.....	XIX
SUMMARY .....	XX

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>CAPÍTULO 1.....</b>	<b>1</b>
<b>1. GENERALIDADES.....</b>	<b>1</b>
1.1 Introducción.....	1
1.2 Objetivos .....	5
1.2.1 Objetivo General.....	5
1.2.2 Objetivos Específicos: .....	5

1.3 Justificación.....	5
1.4 Idea a Defender.....	6
1.5 Metodología.....	6
1.5.1 Métodos de Investigación .....	6
1.5.2 Técnicas de Investigación.....	7
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>8</b>
<b>2. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>8</b>
2.1UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	8
2.2FLUIDOS DE PERFORACIÓN .....	10
2.2.1 Definición .....	10
2.2.2 Ciclo del lodo en un pozo .....	12
2.3 FUNCIÓN PRINCIPAL DE LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN.....	13
2.3.1 Remover cortes del pozo.....	13
2.3.2 Enfriar y lubricar, la broca y la sarta de perforación .....	15
2.3.3 Prevenir el derrumbe de las paredes del hoyo y controlar las presiones de las formaciones perforadas.....	16
2.3.4 Proteger la productividad de la formación.....	18
2.3.5 Prevenir daños a la formación .....	18
2.3.6 Soportar parte del peso de la sarta de perforación o del revestidor .....	20
2.3.7 Transmitir potencia hidráulica a la broca .....	20
2.3.8 Limitar la corrosión del equipo de perforación .....	22
2.3.9 Ayudar a la evaluación de formaciones.....	23
2.4PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN .....	24

2.4.1 Densidad del lodo .....	24
2.4.2 Reología .....	27
2.4.3 Viscosidad plástica .....	28
2.4.4 Viscosidad aparente .....	30
2.4.5 Resistencia a la gelatinización .....	30
2.4.6 Punto cedente .....	32
2.4.7 Pérdida de filtrado .....	32
2.4.8 Contenido de sólidos .....	36
2.5 CLASIFICACIÓN DE LOS FLUIDOS .....	39
2.5.1 Fluidos base agua .....	41
2.5.2 Fluidos base aceite .....	47
2.5.3 Emulsiones invertidas .....	48
2.5.4 Fluidos neumáticos .....	57
2.6 MÉTODOS DE CONTROL DE SÓLIDOS .....	59
2.6.1 Dilución .....	59
2.6.2 Desplazamiento .....	59
2.7 Piscinas de asentamiento (gravedad) .....	60
2.7.1 Separación mecánica .....	61
2.7.2 Clasificación de sólidos .....	61
2.8 EQUIPOS DE CONTROL DE SÓLIDOS .....	66
2.8.1 Puntos de corte de los equipos de control de sólidos .....	67
2.8.1.1 Zarandas .....	68
2.8.1.2 Mallas de las zarandas .....	71
2.8.1.3 Trampa de arena .....	75

2.8.1.4 Hidrociclones .....	78
2.8.1.5 Limpiadores de lodo (mudcleaner) .....	81
2.8.1.6 Centrifugas .....	84
2.8.1.7 Dewatering .....	89
2.8.1.8 Tratamiento de efluentes .....	92
2.8.2 Configuraciones de los equipos de control de sólidos .....	93
2.9 TRATAMIENTO DEL LODO DE PERFORACIÓN .....	98
2.9.1 Conversión del lodo .....	98
2.9.2 Aumento del peso del lodo .....	99
2.9.3 Reducción del peso del lodo .....	102
2.9.4 Adelgazamiento .....	104
2.10 ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL .....	105
2.10.1 Consideraciones generales .....	105
<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>110</b>
3.1 POLIACRILAMIDA .....	111
3.2 PROCEDIMIENTOS .....	113
3.2.1 Prueba de jarras .....	113
3.2.2 Usos de la prueba de jarras .....	114
3.2.3 Preparación de soluciones para correr la prueba de jarras .....	115
3.2.4 Procedimiento de la prueba de jarras .....	116
3.2.5 Muestreo .....	116
3.2.6 Evaluación de resultados .....	117
3.2.7 Limitaciones de las pruebas de jarras .....	118

3.3 PROCESO DE TRATAMIENTO DE FLUIDOS Y EFLUENTES DE PERFORACIÓN .....	119
3.3.1 Proceso de dewatering .....	120
3.3.2 Tratamiento de aguas industriales.....	122
3.3.3 Proceso para tratamiento de cortes de perforación .....	123
3.3.3.1 Control de sólidos por centrifugación.....	126
3.4 Prueba de densidad de lodo .....	128
3.4.1 Balanza de lodo.....	128
3.4.2 Determinación del pH.....	130
3.5 Cálculos de Muestreo .....	131
3.5.1 Cálculos para pruebas de jarras .....	131
3.5.2 Cálculo de la capacidad y volumen de los fosos y tanques .....	134
3.5.3 Volumen de tanques rectangulares .....	135
3.5.4 Volumen de tanques cilíndricos verticales .....	137
3.5.5 Capacidad del pozo .....	139
3.6 Evaluación del desempeño de la unidad de control de sólidos .....	140
3.6.1 Balance de materiales .....	141
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>147</b>
<b>4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS .....</b>	<b>147</b>
4.1 TRATAMIENTO DE FLUIDOS Y EFLUENTES DE PERFORACIÓN .....	148
4.2 PROCESO DE DEWATERING .....	149
4.3 TRATAMIENTO DE AGUAS .....	149
4.4 MANEJO Y DISPOSICIÓN DE CORTES DE PERFORACIÓN .....	150

4.5 CÁLCULO DE VOLÚMENES .....	150
4.6 CÁLCULO DE CONCENTRACIONES DE POLÍMERO .....	151
4.7 VOLÚMENES DE SÓLIDOS DISPUESTOS .....	151
4.8 ANÁLISIS DE VOLÚMENES PROCESADOS .....	152
4.9ANÁLISIS COMPARATIVO .....	153
<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>157</b>
5.1CONCLUSIONES.....	157
5.2 RECOMENDACIONES .....	159
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>161</b>
<b>CITAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>163</b>
<b>GLOSARIO DE TÉRMINOS.....</b>	<b>164</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>189</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1. Densidad de materiales comunes en campos petroleros.....	62
Tabla N° 2. Clasificación API en base al tamaño de las partículas .....	64
Tabla N° 3. Malla BHX (Blue Hex) para zarandas lineales BRANDT .....	72
Tabla N° 4. Monitoreo Ambiental Permanente de aguas y Descargas Líquidas a). ....	107
Tabla N° 5. Monitoreo Ambiental Permanente de aguas Y Descargas Líquidas b). ....	108
Tabla N° 7A. Límites Permisibles de Lixiviados Para la Disposición Final de Lodos y Ripios de Perforación en Superficie a).....	109
Tabla N° 7B. Límites Permisibles de Lixiviados Para la Disposición Final de Lodos y Ripios de Perforación en Superficie b). ....	109
Tabla N° 8. Caracterización de tipos de PAM .....	112
Tabla N° 9. Concentración y ppm.....	115
Tabla N° 10. Concentración sugerida para preparar soluciones. ....	117
Tabla N° 11. Fuerza G necesaria para distintos tipos de operaciones .....	128
Tabla N° 12. Volúmenes de fluido, sólidos procesados y tratamiento de agua .....	153
Tabla N° 13. Densidad de lodo vs. Concentración de cada sección .....	154

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1. Mapa Petrolero del Ecuador.....	9
Figura N° 2. Ciclo del Lodo en un pozo de perforación.....	13
Figura N° 3. Formación de costra de lodo.....	19
Figura N° 4. Transmisión de potencia hidráulica a la broca.....	21
Figura N° 5. Tabla de fluidos de perforación.....	39
Figura N° 6. Diagrama de piscina de Asentamiento.....	60
Figura N° 7. Rango recomendado de sólidos.....	63
Figura N° 8. Clasificación de los tamaños de partículas.....	64
Figura N° 9. Efecto del tamaño de las partículas sobre área superficial.....	65
Figura N° 10. Zaranda lineal ajustable.....	68
Figura N° 11. Zaranda King Cobra.....	71
Figura N° 12. Número de aberturas por pulgada lineal.....	71
Figura N° 13. Tipos de mallas bidimensionales y tridimensionales.....	75
Figura N°14. Trampa de arena.....	76
Figura N° 15. Puntos de corte de los equipos de control de sólidos.....	78
Figura N° 16. Esquema del funcionamiento de un hidrociclón.....	79
Figura N° 17. Esquema de principio de limpiador de lodo.....	82
Figura N° 18. Mud-Conditioner (Conjunto hidrociclones, desander, desilter y zaranda). .....	83
Figura N° 19. Perfil transversal de una centrifuga.....	84
Figura N° 20. Centrifuga 1850.....	88
Figura N° 21. Proceso de Coagulación.....	89

Figura N° 22. Proceso de Floculación. ....	90
Figura N° 23. Proceso de dewatering y clarificación de agua .....	92
Figura N° 24. Sistema básico para lodo no densificado .....	95
Figura N° 25. Lodo no densificado con desgasificador .....	96
Figura N° 26. Lodo no densificado con centrifuga .....	96
Figura N° 27. Lodo densificado con limpiador de lodo y centrifuga .....	97
Figura N° 28. Lodo densificado con centrifugación de flujo que sale por debajo de los hidrociclones .....	97
Figura N° 29. Equipo o “kit de jarras” necesario para prueba de jarras. ....	114
Figura N° 30. Layout de equipos para dewatering.....	122
Figura N° 31. Zona de Cortes .....	125
Figura N° 32. Balanza de lodo .....	129
Figura N° 33. Palillos indicadores de pH.....	131
Figura N° 34. Medidor de pH de electrodos de vidrio.....	131
Figura N° 35. Tanque rectangular.....	135
Figura N° 36. Tanque cilíndrico vertical. ....	137
Figura N° 37. Diagrama para cálculo por balance de materiales.....	144
Figura N° 38. Comparación entre gasto de polímero actual vs. gasto de polímero propuesto para cada sección.....	155
Figura N° 39. Química utilizada en el tratamiento de agua en las distintas secciones .	156

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación N° 1. Presión de la formación. ....	17
Ecuación N° 2. Presión hidrostática.....	17
Ecuación N° 3. Peso de la tubería dentro del pozo. ....	20
Ecuación N° 4. Peso de material densificante necesario. ....	26
Ecuación N° 5. Peso de barita necesario.....	26
Ecuación N° 6. Volumen de agua necesario. ....	27
Ecuación N° 7. Viscosidad plástica. ....	29
Ecuación N° 8. Viscosidad aparente.....	30
Ecuación N° 9. Punto cedente.....	32
Ecuación N° 10. Requerimiento de volumen de aire. ....	58
Ecuación N° 11. Ley de Stokes.....	77
Ecuación N° 12. Cabeza hidrostática. ....	80
Ecuación N° 13. Aumento de peso por arcillas (lb/bbl) ....	100
Ecuación N° 14. Aumento de volumen por arcillas (bbl). ....	100
Ecuación N° 15. Aumento de peso por barita (lb/bbl). ....	100
Ecuación N° 16. Aumento de volumen por barita (bbl). ....	101
Ecuación N° 17. Aumento de peso por arcillas (Kg/m <sup>3</sup> ).....	101
Ecuación N° 18. Aumento de volumen por arcillas (m <sup>3</sup> ).....	101
Ecuación N° 19. Aumento de peso por barita (Kg/m <sup>3</sup> ).....	102
Ecuación N° 20. Aumento de volumen por barita (m <sup>3</sup> ).....	102
Ecuación N° 21. Volumen de agua requerida en barriles. ....	103
Ecuación N° 22. Volumen de agua requerida en m <sup>3</sup> .....	103

Ecuación N° 23. Cálculo de la fuerza G. ....	127
Ecuación N° 24. Cálculo de concentraciones. ....	132
Ecuación N° 25. Cálculo de concentración en kilogramos de químico. ....	132
Ecuación N° 26. Cálculo de concentración en galones de polímero ....	133
Ecuación N° 27. Sacos de químico ....	134
Ecuación N° 28. Galones de polímero ....	134
Ecuación N° 29. Volumen tanque rectangular ....	136
Ecuación N° 30. Volumen tanque rectangular en ft <sup>3</sup> ....	136
Ecuación N° 31. Volumen tanque rectangular en bbl. ....	136
Fórmula N° 32. Volumen de lodo en el tanque rectangular en ft <sup>3</sup> ....	137
Ecuación N° 33. Diámetro tanque cilíndrico ....	138
Ecuación N° 34. Volumen tanque cilíndrico ....	138
Ecuación N° 35. Volumen tanque cilíndrico en ft <sup>3</sup> ....	138
Ecuación N° 36. Volumen tanque cilíndrico en m <sup>3</sup> . ....	138
Ecuación N° 37. Volumen tanque cilíndrico en bbl. ....	139
Ecuación N° 38. Volumen lodo en tanque cilíndrico en ft <sup>3</sup> o m <sup>3</sup> ....	139
Ecuación N° 39. Volumen de cada sección del pozo. ....	140
Ecuación N° 40. Volumen de cada sección del pozo en bbl/ft. ....	140
Ecuación N° 41. Cálculo del volumen total. ....	142
Ecuación N° 42. Cálculo de la masa total. ....	142

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N° 1. Ficha de datos de seguridad MSDS del Polímero Cifloc 1143 .....	189
Anexo N° 2. Cadena de Custodia Muestra de Agua .....	190
Anexo N° 3. Reporte de Análisis .....	191

## RESUMEN

Tesis sobre tratamiento de fluidos de perforación base agua que se encarga de separación de cortes y polímeros para cumplir con la reglamentación ambiental en el área de sachá central. El objetivo fundamental al tratar fluidos base agua es recomendar la concentración óptima de polímero para utilizarlo en el tratamiento, a través de un análisis comparativo entre el proceso actual y el propuesto y sobre todo que este cumpla con el RAHOE. Ya que tenemos un problema en el área estudiada y este es un gasto excesivo de polímero en las distintas secciones de perforación. Y queremos llegar a la utilización de medios mecánico-químicos que mejora las propiedades del lodo, la obtención de un lodo con bajo contenido de sólidos y la disposición de los cortes y del agua residual como producto de un tratamiento bueno, nos permite optimizar su funcionamiento, cumplir con el RAHOE sobre todo.

Desarrollando el tema estudiado tenemos en los diferentes capítulos puntos básicos del fluido de perforación como son sus funciones, las facilidades de utilizar lodo en la exploración de un pozo, como también topamos las propiedades del fluido en sí, y este nos conlleva a un análisis metodológico en el control de sólidos para analizar los mismos se debe conocer el equipo que se utilizará para tratarlos.

Posteriormente haciendo cálculos elementales podremos analizar la factibilidad de que exista un correcto uso de los polímeros utilizados.

## SUMMARY

Thesis on the treatment of water based drilling fluids in charge separation and polymers cuts to comply with environmental regulations in the area of central sachá. The main objective when treating water-based fluids is to recommend the optimum concentration of polymer for use in treatment, through a comparative analysis between the current and proposed process and above all it complies with Raho. Since we have a problem in the study area and this is an overspending of polymer in the different sections of drilling. And we want to use media which improves mechanical and chemical properties of sludge, obtaining slurry with low solids content and arrangement of cuts and waste water treatment product as well; we can optimize its performance, meeting the particular Raho.

Developing the subject studied in the various chapter shave points of drilling fluid and its functions, ease of use sludge in the exploration of a well, also come across the properties of the fluid its elf, and this leads us to a methodological analysis in the control of solids to analyze them selves must know the equipment to be used to treat them.

Then by elementary calculations we analyze the feasibility of having a correct use of the polymers used.

# **CAPÍTULO I**

## **CAPÍTULO 1**

### **1. GENERALIDADES**

Para el cumplimiento de las disposiciones del Reglamento Ambiental para Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador (RAOHE) referentes a las actividades de perforación, Tuboscope Vetco International Inc. ha dispuesto su personal y equipos para:

- Recolectar los fluidos residuales provenientes de la perforación, evitando descargas sin previo tratamiento hacia el medio ambiente o canales adyacentes.
- Mantener en la locación el equipo, material y personal capacitado en caso de que se presenten situaciones de emergencia.
- Eliminar materiales no deseados (sólidos de baja gravedad o LGS), en el lodo de perforación reduciendo volúmenes de fluidos a ser tratados y dispuestos.
- Obtener agua de calidad adecuada para ser reutilizada en las diferentes operaciones de perforación.
- Suministrar el equipo de laboratorio, así como los procedimientos necesarios, para realizar los análisis físico-químicos.

#### **1.1 Introducción**

Optimización de perforación fue aplicada principalmente al procedimiento de selección de hidráulica de las brocas, se ha utilizado en un sentido más amplio pues incluye la planeación, selección y propiedad del lodo, tipo de la broca y condiciones de operación, así como los tipos de tubería de revestimiento y profundidades de asentamiento.

En muchas operaciones de perforación es necesario cambiar la química del lodo de un

tipo a otro, a este cambio se lo denomina conversión del lodo; las razones para llevar una conversión puede ser:

- a) el mantener un pozo estable,
- b) el proveer un lodo que tolere altos pesos,
- c) perforar las formaciones,
- d) reducir el taponamiento de zonas productoras.

La finalidad de este servicio es mantener al mínimo el porcentaje de sólidos no deseados en el sistema de los fluidos de perforación, mediante la utilización de equipos especializados; el tratamiento de fluidos y efluentes de perforación en la industria petrolera es de vital importancia así como; el correcto diseño, tratamiento de fluidos y selección de estos equipos como son:

- a) Zarandas,
- b) Desgasificador,
- c) Acondicionador de Lodos,
- d) Centrifugas;

Estos equipos nos permiten un control de sólidos apropiado y alcanzar, paso a paso, la remoción progresiva de los sólidos perforados. Esto permite que cada equipo optimice el desempeño del equipo siguiente. Además, el sistema debe tener la habilidad para diferenciar entre los sólidos perforados y el valioso material pesante, reduciendo la necesidad de botar y diluir, tratamientos químicos, e impactos ambientales a través de la propuesta del mejoramiento del plan de manejo ambiental existente, permite establecer registros periódicos y parámetros de cumplimiento del Reglamento Ambiental para Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador y la ejecución de re-uso y re-circulación

de aguas de perforación mediante la utilización de la unidad de DEWATERING.

Tuboscope Vetco International Inc. inicia operaciones en Ecuador en Septiembre de 1996, dedicada a prestar los servicios de control de sólidos, tratamiento de aguas y en general a la conservación del medio ambiente durante la perforación de pozos de petróleo y gas. Desde ese entonces, esta línea de negocios conocida como “Brandt” ha venido en constante crecimiento y desde hace unos años se ha mantenido como líder del mercado local.

En Septiembre de 1998, Tuboscope Vetco International Inc., inicia operaciones de inspección de tubulares.

En enero del año 2003, Tuboscope Vetco International Inc. amplía su oferta de servicios y entra en el negocio de la reparación de tuberías y herramientas.

En Agosto del año 2003, Tuboscope Vetco International Inc. decide entrar en el negocio de la instrumentación para Taladros de Perforación e introduce en el país su línea “MD Totco” que es el líder mundial en su especialidad.

Tuboscope Vetco International Inc. entra a formar parte del grupo Varco International Inc., por fusión en casa Matriz a partir del año 2004.

En Marzo de 2005, por fusiones entre el grupo Varco International Inc., y National Oilwell, Tuboscope Vetco International Inc., entra hacer parte de esta nueva

organización líder a nivel mundial en servicios petroleros llamada National Oilwell Varco (NOV) que tiene su sede en Houston, Texas (USA).

En Abril del año 2006, Tuboscope Vetco International Inc. abre su línea de Control Litológico de Pozos de Petróleo y Gas (MudLogging).

En Diciembre del año 2009, Tuboscope Vetco International Inc. abre la línea de negocio Fluidos de Perforación y amplía aún más su extensa gama de servicios para la industria petrolera.

Con la apertura de la línea de Fluidos de Perforación y por reorganización de la Casa Matriz las líneas de negocio en Ecuador son:

- Control de Fluidos: Control de Sólidos, Fluidos de Perforación y Control Litológico.
- Inspección y Reparación de Tubulares.
- Instrumentación.

## **1.2 Objetivos:**

### **1.2.1 Objetivo General**

Determinar la concentración óptima de polímero para utilizarlo en el tratamiento de fluidos base agua en Sacha central.

### **1.2.2 Objetivos Específicos:**

1. Conocer el funcionamiento del mecanismo en el pozo de Sacha Central que se utiliza para tratar fluidos de perforación.
2. Verificar que los efluentes cumplan con la normativa RAHOE 1215.
3. Optimizar el polímero en el pozo sachá durante el proceso dewatering

## **1.3 Justificación**

La justificación principal de esta investigación es que en el área de Sacha Central se descargan fluidos de perforación para reinyección con químicos que no han sido totalmente tratados, no cumpliendo con los parámetros del Reglamento de Operaciones Hidrocarburíferas del Ecuador decreto 1215 RAHOE.

#### **1.4 Idea a Defender**

Con un estricto control en los parámetros químicos se tendrá un resultado alentador al momento de descargar al medio ambiente o reinyección en los puntos destinados de descarga de los fluidos tratados.

**UNIDAD DE ANÁLISIS:** Fluidos de perforación y productos químicos

**VARIABLE INDEPENDIENTE:** Reducir contaminación en la descarga de fluido tratado.

**VARIABLE DEPENDIENTE:** Tipo de lodo y problemas de perforación

**TÉRMINOS LÓGICOS:** Si se; Entonces se.-

#### **1.5 Metodología**

Este método analítico implica el análisis (del griego análisis, que significa descomposición), esto es la separación de un todo en sus partes o en sus elementos constitutivos. Se apoya en que para conocer un fenómeno es necesario descomponerlo en sus partes.

##### **1.5.1 Métodos de Investigación**

El método de investigación a emplearse es el método analítico Sintético, este método permite mediante procesos mentales llegar al conocimiento del objeto así tenemos que

el análisis descompone el todo en sus partes y relaciona.- En tanto a la síntesis logra la integración de sus partes constitutivas, estos métodos si bien se los trata por separados son en realidad una relación dialéctica que actúa interrelacionados.

### **1.5.2 Técnicas de Investigación**

- Revisión de literatura técnica relacionada con la perforación de pozos
- Revisión de documentación de fluidos de perforación
- Manuales
- Libros
- Cds interactivo
- Información de internet

## **CAPÍTULO II**

## **CAPÍTULO II**

### **2. INTRODUCCIÓN**

Tuboscope Vetco International Inc. inicia operaciones en Ecuador en Septiembre de 1996, dedicada a prestar los servicios de control de sólidos, tratamiento de aguas y en general a la conservación del medio ambiente durante la perforación de pozos de petróleo y gas. Desde ese entonces, esta línea de negocios conocida como “Brandt” ha venido en constante crecimiento y desde hace unos años se ha mantenido como líder del mercado local.

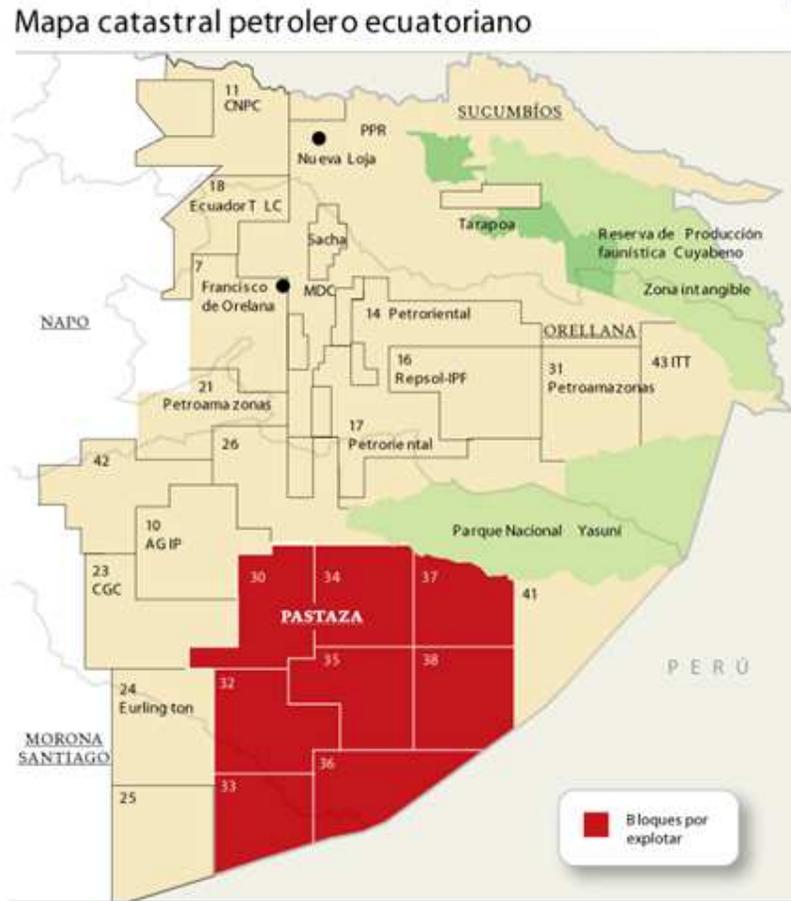
### **2.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**

El petróleo fue descubierto en 1964 en la región amazónica por la empresa Texaco. EP PETROECUADOR es la empresa estatal Petróleos del Ecuador que desarrolla su actividad en escenarios diversos y constituye el soporte fundamental de la economía nacional y del Estado.

Despliega sus tareas de exploración y explotación de petróleo en una superficie de 3'354444 hectáreas, extensión cinco veces menor a las áreas asignadas a las compañías petroleras privadas.

(ver Figura N° 1).

Figura N°1. Mapa Petrolero del Ecuador



Fuente: Alisupay, Mapa Petrolero del Ecuador

Elaborado por: David Santiago Rodríguez Valverde

## **2.2 FLUIDOS DE PERFORACIÓN**

En el sistema de perforación rotativo, es necesario utilizar un fluido que circule en el pozo y que cumpla las siguientes funciones generales, cualquiera sea ese fluido

### **2.2.1 Definición**

Los fluidos utilizados durante las labores de perforación de un pozo, son denominados como fluidos de perforación. Este término está restringido a los fluidos que son circulados a través del hoyo y cumplen con los requisitos mínimos de eficiencia de limpieza y seguridad durante la perforación de un pozo.

El fluido de perforación formado por una mezcla de aditivos químicos como la Barita y la Bentonita que proporcionan propiedades físico-químicas idóneas a las condiciones operativas y a las características de la formación litológica a perforar. Las estabilizaciones de sus parámetros físicos-químicos, así como la variación de los mismos al contacto con los contaminantes liberados en la formación perforada son controladas mediante análisis continuos.

“Un fluido de perforación óptimo, es aquel en el que el caudal necesario para limpiar el hoyo resulta de la potencia hidráulica adecuada para limpiar la broca, para que el peso y la velocidad de rotación impuesta genere bajos costos, esta combinación de variables dará como resultados un pozo estable que cumple con los criterios de evaluación y en el objetivo deseado”.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> LUMMUS, James, AZAR, J.J, Drilling Fluids Optimization.

El término "Fluido de perforación", incluye gas, aire, petróleo, agua, y suspensión coloidal a base de agua y arcilla.

No debe ser tóxico, corrosivo ni inflamable, pero si inerte a las contaminaciones de sales solubles o minerales, y además estables a las temperaturas, debe mantener sus propiedades según sus exigencias de las operaciones y debe ser inmune al desarrollo de bacterias.

Los fluidos usados en la perforación rotatoria, que inicialmente fueron tomados como medio para transportar los cortes de rocas a la superficie, son considerados ahora como uno de los factores más importantes para evitar fallas en las operaciones de perforación. Además de su cualidad de transportar ripios a la superficie, los fluidos de perforación deben cumplir con otras funciones de igual importancia y directamente relacionada con la eficiencia, economía y total computación de la operación de perforación. Por esta razón la composición de los fluidos de perforación y sus propiedades resultantes están sujetas a muchos estudios y análisis.

Atendiendo a las necesidades, los fluidos de perforación deben poseer la capacidad de tener propiedades físicas y químicas que le permitan adaptarse a una gran variedad de condiciones, para satisfacer las funciones más complejas, por ello se ha requerido que la composición de los fluidos sea más variada y que sus propiedades estén sujetas a mayor control. Esto ha traído como consecuencia el incremento del costo de los fluidos de perforación.

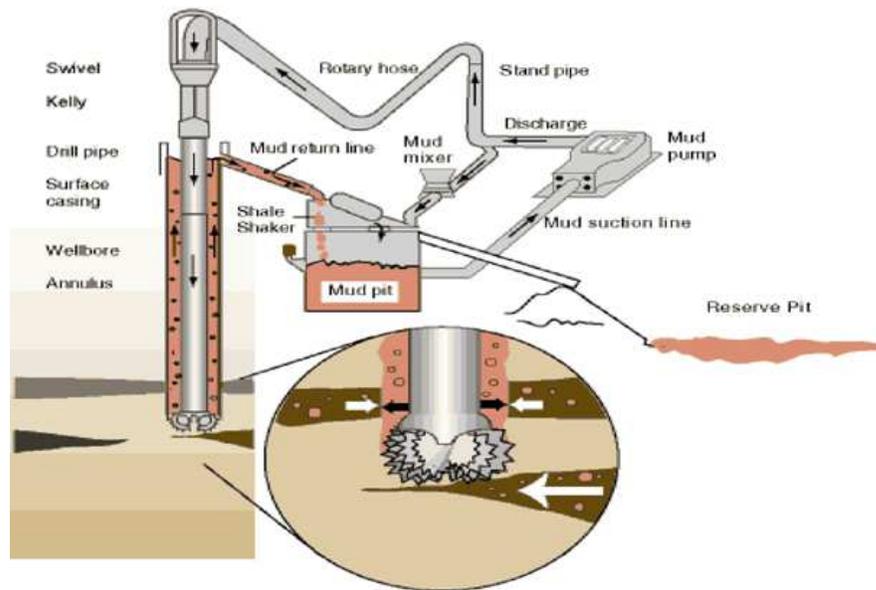
### **2.2.2 Ciclo del lodo en un pozo**

La mayor parte del lodo que se utiliza en una operación de perforación se recircula en un ciclo continuo:

1. El lodo se mezcla y guarda en el tanque de lodo.
2. Una bomba extrae el lodo del tanque y lo envía a través de la tubería de perforación directo hacia el pozo.
3. El lodo emerge a través de la tubería de perforación, desde el fondo del pozo, donde la broca de perforación está fragmentando la formación rocosa.
4. Ahora el lodo comienza el viaje de regreso a la superficie, arrastrando los fragmentos de roca, denominados detritos, que se han desprendido de la formación por acción de la broca.
5. El lodo sube a través del anular, el espacio existente entre la tubería de perforación y las paredes del pozo. El diámetro típico de una tubería de perforación es de aproximadamente 4 pulgadas (10 centímetros). En el fondo de una excavación profunda, el pozo puede llegar a tener 8 pulgadas (20 centímetros) de diámetro.
6. En la superficie, el lodo viaja a través de la línea de retorno del lodo, una tubería que conduce a la zaranda vibratoria.
7. Las zarandas vibratorias son una serie de rejillas vibratorias de metal que se utilizan para separar el lodo de los detritos. El lodo gotea a través de las rejillas y regresa al tanque de lodo.
8. Los detritos de las rocas se deslizan por la deslizadora de detritos que se encarga de desecharlos. Pueden lavarse antes de ser desechados, pero esto dependerá de factores ecológicos u otro tipo de consideraciones. Algunos

de los detritos son examinados por los geólogos en busca de indicios acerca de qué es lo que está sucediendo en la profundidad del pozo.

Figura N°2. Ciclo del Lodo en un pozo de perforación



Fuente: NousGroup, “Perforación de Pozos”

Elaborado por: David Santiago Rodríguez Valverde

## 2.3 FUNCIÓN PRINCIPAL DE LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN

### 2.3.1 Remover cortes del pozo (mantener el pozo limpio).

En la perforación de una formación, los cortes hechos por la broca, o en algunos casos, pedazos de la formación provenientes de las paredes del hoyo al ocurrir algún derrumbe, deben ser continuamente evacuados desde el hoyo hasta la superficie. “La habilidad

para sacar partículas de diversos tamaños fuera del hoyo es una de las funciones más importantes de un fluido de perforación”.<sup>2</sup>

El cumplimiento de esta función dependerá de los siguientes factores:

- Densidad de fluido.
- Viscosidad del fluido.
- Viscosidad del fluido en el anular.
- Velocidad anular.
- Densidad de los cortes.
- Tamaño de los cortes.

En la mayoría de los casos, el mantener una velocidad anular suficiente da como resultado un movimiento neto hacia arriba de los cortes. Cuando la capacidad de la bomba es baja para proveer una velocidad anular suficiente para levantar los cortes, un incremento en la viscosidad del lodo, particularmente por el incremento del punto cedente, debe resultar en una mejor limpieza del hoyo.

La velocidad anular siempre debe ser mayor que la velocidad de caída de los ripios, ya que de no ser así, las partículas pueden asentarse y causar problemas de puentes, rellenos, arrastre o pega de tuberías.

Para disminuir la velocidad de asentamiento de las partículas es necesario aumentar la viscosidad del lodo, reflejándose esto en un aumento de presión de

---

<sup>2</sup> SCHULUMBERGER, Manual de Funciones de los fluidos de perforación.

funcionamiento de las bombas para mantener un caudal establecido, lo cual produce una alta contrapresión capaz de ocasionar pérdidas de circulación. Es recomendable, que antes de incrementar la viscosidad se consideren todos los posibles problemas que se pueden inducir.

Otra forma de disminuir la velocidad de asentamiento de las partículas es mediante el incremento de la densidad del fluido, ya que esto trae como consecuencia un efecto de flotación mayor sobre las partículas.

### **2.3.2 Enfriar y lubricar, la broca y la sarta de perforación**

La fricción originada por el contacto de la broca y de la sarta de perforación con las formaciones genera una cantidad considerable de calor.

Los lodos deben tener suficiente capacidad calorífica y conductividad térmica para permitir que el calor sea recogido del fondo del pozo, para transportarlo a la superficie y disiparlo a la atmósfera.

“Es mínima la posibilidad de que este calor se elimine por conducción a través del subsuelo, en consecuencia debe eliminarse por el fluido circulante”.<sup>3</sup> El calor transmitido desde los puntos de fricción al lodo es difundido a medida que éste alcanza la superficie.

---

<sup>3</sup>MI SWACO, Drilling Fluids Engineering Manual.

En menor grado el lodo por sí mismo ayuda a la lubricación. Esta lubricidad es aumentada mediante el uso de emulsionantes , o aditivos especiales que afectan la tensión superficial. La capacidad lubricante es demostrada por la disminución de la torsión de la sarta, aumento de la vida útil de la broca, reducción de la presión de la bomba, etc.

Se necesita tener una presión adecuada a través de la broca y el ensamblaje de fondo para mantenerlo limpio, el cual debe tener viscosidad y sólidos apropiados además de agentes lubricantes como: sólidos (arcillas, inertes, etc.), aceites, surfactantes, detergentes y lubricantes para presiones extremas.

Con el uso, cada vez más frecuente de brocas con cojinetes auto lubricados, el efecto de la lubricidad de los lodos se manifiesta principalmente en la fricción de la sarta de perforación con las paredes del hoyo.

### **2.3.3 Prevenir el derrumbe de las paredes del hoyo y controlar las presiones de las formaciones perforadas**

Un buen fluido de perforación debe depositar un revoque que sea liso, delgado, flexible y de baja permeabilidad. Esto ayudará a minimizar los problemas de derrumbes y atascamiento de la tubería, además de consolidar la formación y retardar el paso de fluido hacia la misma, al ejercer una presión sobre las paredes del hoyo abierto.

Normalmente, la densidad del agua más la densidad de los sólidos obtenidos durante la perforación es suficiente para balancear la presión de la formación en las zonas superficiales.

La presión de la formación es la presión que tienen los fluidos en el espacio poroso y puede estimarse usando los gradientes de la formación. La misma se calcula mediante la siguiente ecuación:

Ecuación N° 1. Presión de la formación.

$$PF = \text{Gradiente de formación (psi/pies)} * \text{Profundidad (pies)}$$

Siendo los gradientes normales 0.433 psi / pie para el agua dulce y 0.465 psi/pie para el agua salada.

Elaborado por: David Rodríguez

Fuente: Curso de transporte de crudos, Ing. Fausto Ramos

La presión hidrostática es la presión debida a la columna de fluido.

La ecuación para el cálculo de presión hidrostática esta definida por:

Ecuación N° 2. Presión hidrostática.

$$PH = 0.052 \text{ psi/pies} * \text{lb/gal} * \text{profundidad (pies)} * \text{densidad lodo (lpg)}$$

$$P = 0.433 * SG * h$$

Elaborado por: David Rodríguez

Fuente: Curso de transporte de crudos, Ing. Fausto Ramos

Cuando la tubería se baja dentro del hoyo, desplaza el fluido de perforación, haciendo que este suba a través del espacio anular entre la sarta de perforación y las paredes del hoyo. Esto es análogo a la circulación del fluido y los cálculos de presión pueden ser obtenidos por medio de las fórmulas descritas anteriormente.

El control de las presiones anormales requiere que se agregue al lodo, material de alta gravedad específica, como barita, para aumentar la presión hidrostática.

#### **2.3.4 Proteger la productividad de la formación**

Debe ser tomado en cuenta por el ingeniero encargado de la selección del fluido de perforación a usarse en determinado pozo o área.

A menudo, zonas clasificadas como "Hidrocarburos no comerciales" son culpadas al fluido de perforación debido al daño causado por la invasión de fluido o filtrado. Es indudable que es siempre deseable mantener la formación en estado virgen. En perforación esto es muy difícil de hacer. En algunas áreas las zonas productoras son perforadas con aire o gas para mantener líquido fuera de la formación.

"En otras áreas las zonas productivas son perforadas con fluido a base de petróleo para mantener el agua fuera de la zona, y en otras se utilizan fluidos de agua salada o de alto contenido de calcio para minimizar daños a la formación, la mayoría de las compañías mandan a reducir la rata de filtración a menos de 10 para minimizar el daño a la formación productiva, en realidad esta práctica no es segura ya que las condiciones de fondo no es la misma".<sup>4</sup>

#### **2.3.5 Prevenir daños a la formación**

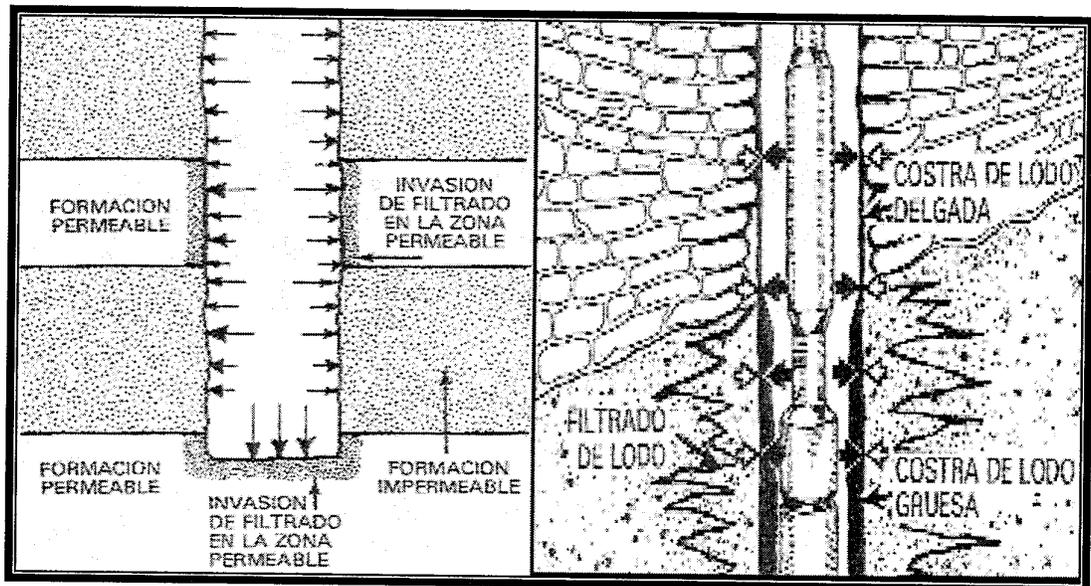
Además de mantener en sitio y estabilizada la pared del hoyo para prevenir derrumbes; debe elegirse un sistema de Jodo que dentro de la economía total del pozo, asegure un

---

<sup>4</sup> SCHULUMBERGER, Manual de Funciones de los fluidos de perforación.

mínimo de modificación o alteración sobre las formaciones que se van perforando, no sólo para evitar derrumbes u otros problemas durante la perforación, sino también para minimizar el daño de la formación a producir que puede llevar a costosos tratamientos de reparación o pérdidas de producción.

Figura N°3. Formación de costra de lodo



Fuente: PETROPRODUCCION, DPTO. PERFORACIÓN “Perforación de pozos”.

Elaborado por: David Santiago Rodríguez Valverde

Es necesario que el lodo tenga valores óptimos en todas sus propiedades para obtener máxima protección de la formación, aunque a veces, algunas de ellas deban sacrificarse para obtener el máximo conocimiento de los estratos perforados.

### **2.3.6 Soportar parte del peso de la sarta de perforación o del revestidor**

La propiedad más importante para cumplir esta función es la densidad, cuando se corre una tubería al hueco, se experimenta una baja en el peso de estos comparativamente con el peso en el aire.

Para calcular el peso de la tubería en un fluido se debe calcular el volumen de fluido desplazado por la tubería, y el producto de este volumen por la densidad del fluido es el empuje hacia arriba que experimenta la tubería (Principio de Arquímedes).

Con el incremento de las profundidades perforadas el peso que soporta el equipo de perforación, se hace cada vez mayor. El peso de la sarta de perforación y de la tubería de revestimiento en el lodo, es igual a su peso en el aire multiplicado por el factor de flotación.

Ecuación N° 3. Peso de la tubería dentro del pozo.

$$\text{PESO TUBERÍA} = \text{Peso tubería (aire)} * \text{Factor de flotación}$$

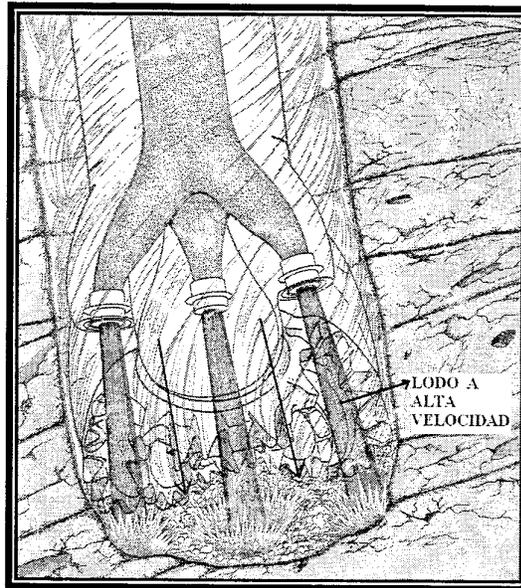
Un aumento de la densidad del lodo conduce a una reducción del peso total que el equipo de superficie debe soportar.

### **2.3.7 Transmitir potencia hidráulica a la broca**

El fluido de perforación es un medio para transmitir la potencia hidráulica disponible a través de la broca, ayudando así a perforar la formación y limpiar el fondo del hoyo.

La potencia debe ser considerada dentro del programa del lodo; en general esto significa que la tasa de circulación, debe ser tal que el rendimiento de la potencia óptima sea usado para limpiar la cara del hoyo frente a la broca.

Figura N°4. Transmisión de potencia hidráulica a la broca.



Fuente: PETROPRODUCCION, DPTO. PERFORACIÓN "Perforación de pozos".

Elaborado por: David Santiago Rodríguez Valverde

Las propiedades del flujo del lodo : viscosidad plástica , punto cedente, etc., ejercen una considerable influencia sobre las propiedades hidráulicas y deben ser controladas en los valores apropiados. El contenido de sólidos en el lodo debe ser también controlado en un nivel óptimo para lograr los mejores rendimientos.

En los pozos someros, la potencia hidráulica disponible es generalmente suficiente para asegurar la limpieza eficaz de la broca. Como la presión disponible en la columna de perforación disminuye a medida que se aumenta la profundidad del pozo, se alcanzará

una profundidad a la cual la presión será insuficiente para asegurar la limpieza óptima de la broca. Se puede aumentar esta profundidad controlando cuidadosamente las propiedades del lodo.

### **2.3.8 Limitar la corrosión del equipo de perforación**

Los componentes de la columna de perforación y tubería de revestimiento que están constantemente en contacto con el fluido de perforación están propensos a varias formas de corrosión. Los gases disueltos tales como el oxígeno, dióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno pueden causar graves problemas de corrosión, tanto en la superficie como en el fondo del pozo. En general, un pH bajo agrava la corrosión. Por tanto, una función importante del fluido de perforación es mantener la corrosión a un nivel aceptable. Además de proteger las superficies metálicas contra la corrosión, el fluido de perforación no debería dañar los componentes de caucho o elastómeros. Cuando los fluidos de la formación y/o otras condiciones de fondo lo justifican, metales y elastómeros especiales deberían ser usados. Muestras de corrosión deberían ser obtenidas durante todas las operaciones de perforación para controlar los tipos y las velocidades de corrosión.

La aireación del lodo, formación de espuma y otras condiciones de oxígeno ocluidos, pueden causar graves daños por corrosión en poco tiempo.

La mayoría de los fluidos de perforación contienen agua los cuales tienen sales disueltas en su base líquida, este es un medio en que la corrosión puede tomar lugar, en este caso se deben tomar las precauciones necesarias para reducir este riesgo.

Siempre que sea posible debe mantenerse el pH en el rango básico (mayor 7) en un fluido de perforación para poder evitar la corrosión, mantener un pH básico nos ayudan a la consecución de otros planes que sin tener un pH básico no se conseguirían.

### **2.3.9 Ayudar a la evaluación de formaciones**

La calidad del lodo debe permitir la obtención de toda la información necesaria para valorar la capacidad productiva de petróleo de las formaciones perforadas. Las características físico-químicas del lodo deben ser tales que puedan asegurar la información geológica deseada, la obtención de mejores registros y la toma de núcleos. Las propiedades del fluido de perforación afectarán la medición de las propiedades de la roca por las herramientas eléctricas de cable. El filtrado excesivo puede expulsar el petróleo y el gas de la zona próxima al agujero, perjudicando los registros y las muestras obtenidas por las pruebas FT o DST. Los lodos que contienen altas concentraciones iónicas de potasio perjudican el registro de la radioactividad natural de la formación.

La salinidad alta o variable del filtrado puede dificultar o impedir la interpretación de los registros eléctricos.

Las herramientas de registro con cable deben ser introducidas desde la superficie hasta el fondo, y las propiedades de la roca se miden a medida que las herramientas son retiradas del pozo.

Para un registro con cable óptimo, el lodo no debe ser demasiado denso y debe mantener la estabilidad del pozo y suspender cualesquier recortes o derrumbes.

## **2.4 PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN**

Durante la perforación de un pozo petrolero es de suma importancia el control de las propiedades físicas y químicas de los fluidos de perforación.

Estas propiedades deben ser controladas de tal forma que el lodo proporcione un trabajo eficiente, en consecuencia se evalúan las propiedades del lodo para obtener:

1. El nivel deseado de cada propiedad.
2. El control de las propiedades físicas y químicas.
3. Conocimiento de los problemas ocasionados y las causas que los originan.

### **2.4.1 Densidad del lodo**

Una de las principales propiedades del lodo es la densidad, cuya función es mantener los fluidos contenidos dentro del hoyo en el yacimiento durante la perforación.

Adicionalmente, mantener las paredes del hoyo al transmitir la presión requerida por las mismas.

“La densidad máxima del lodo que se requiere en la perforación de un pozo, está determinada por el gradiente de presión”.<sup>5</sup> La presión de poro a una profundidad dada, muy frecuentemente excede la presión ejercida por el peso de la tierra, sobre la profundidad evaluada (presión de sobrecarga).

---

<sup>5</sup> RUIZ Marco, Tecnología aplicada en los fluidos de perforación.

Hay algunas variaciones en las presiones de sobrecarga asumidas en diferentes áreas de perforación. La presión de sobrecarga es tomada en la mayoría de las áreas como 1 psi/pie de profundidad.

Para prevenir la entrada de fluidos desde la formación al hoyo, el lodo debe proveer una presión mayor a la presión de poros encontrada en los estratos a ser perforados. Un exceso en la densidad del fluido puede ocasionar la fractura de la formación con la consiguiente pérdida de fluido de control.

La capacidad de sostener y transportar los ripios en un lodo aumenta con la densidad. En el pasado, una gran cantidad de materiales fueron utilizados como agentes densificantes para el lodo, tales como barita, óxido de hierro, sílica amorfa, carbonato de calcio y arcillas nativas. De todos estos materiales en la actualidad es la barita la más utilizada debido a su bajo costo, alta gravedad específica y por ser inerte.

La hemátita y la galena son utilizadas para zonas en donde es necesario un lodo extremadamente pesado para contener la presión de la formación. El máximo peso obtenido con barita, es aproximadamente 21 lpg, mientras que con galena se pueden lograr densidades sobre 30 lpg.

Fluidos libres de sólidos son frecuentemente preferidos para trabajos de reparación y completación, debido a que mantienen sus propiedades estables durante largos períodos en condiciones de hoyo. Estos fluidos pesados, libres de sólidos son preparados por solución de varias sales, tales como cloruro de potasio, cloruro de sodio, carbonato de sodio, y carbonato de potasio, entre otras. Para determinar la cantidad de material de

peso que es necesario agregar a un lodo para aumentar su densidad, se utiliza la siguiente fórmula:

Ecuación N° 4. Peso de material densificante necesario.

$$W=350 * G.E * (\partial f - \partial i) * V_i / (8.33 * G.E - P_f)$$

Elaborado por: David Rodríguez

Fuente: Drilling Fluids Engineering Manual, MI SWACO

Donde;

W = Peso de material densificante necesario, lb.

G.E= Gravedad específica del material densificante.

$\partial f$  = Densidad final del fluido, lb/gal.

$\partial i$  = Densidad inicial del fluido, lb/gal.

$V_i$  = volumen inicial del fluido, bbl.

Para la Barita:

Ecuación N° 5. Peso de barita necesario.

$$W_b= 1470 (\partial f - \partial i) * V_i / (35 - \partial f)$$

Fuente: Drilling Fluids Engineering Manual, MI SWACO

Elaborado por: David Rodríguez

De igual forma si se desea disminuir la densidad agregando agua se utiliza la siguiente fórmula:

Ecuación N° 6. Volumen de agua necesario.

$$V_w = V_i (\partial_i - \partial_f) / (\partial_f - 8.33)$$

Fuente: Drilling Fluids Engineering Manual, MI SWACO

Elaborado por: David Rodríguez

Donde;

$V_w$  = Volumen de agua necesario, bbl.

### 2.4.2 Reología

Es un término que denota el estudio de la deformación de materiales, incluyendo el flujo. En terminología de campo petrolero la frase propiedades de flujo y la viscosidad, son las expresiones generalmente usadas para describir las cualidades de un lodo de perforación en movimiento.

Por definición, viscosidad es la resistencia que ofrece un fluido a deformarse (a fluir).

Los fluidos de perforación son tixotrópicos y una medida de viscosidad de un fluido de este tipo será válida únicamente para la tasa de corte a la cual la medida fue hecha.

Han sido desarrolladas ecuaciones, que usan los valores medidos de viscosidad plástica, punto cedente y fuerza de gel para calcular las pérdidas de presión en la tubería de perforación y en el anular, y para estimar la velocidad de levantamiento de los cortes (Modelo plástico de Bingham y Modelo Exponencial).

La viscosidad de los fluidos de perforación, es una función de muchos factores, algunos de los cuales son:

- Viscosidad de la fase líquida continúa.

- Volumen de sólidos en el lodo.
- Volumen de fluido disperso.
- Número de partículas por unidad de volumen.
- Forma y tamaño de las partículas sólidas.
- Atracción o repulsión entre las partículas sólidas y entre sólidos y la fase líquida.

Entre las propiedades reológicas están:

- a) Viscosidad plástica.
- b) Viscosidad aparente.
- c) Resistencia a la gelatinización.
- d) Punto cedente.

Factores que Afectan la Reología:

- a) Temperatura

La reología de un lodo depende de la temperatura.

Generalmente la viscosidad decrece a medida que aumenta la temperatura.

- b) Tiempo

La reología de un lodo depende del tiempo, las resistencias de gel son una manifestación de la dependencia del tiempo, que solamente se desarrolla después de un período durante el cual, el lodo ha sido sometido a una velocidad de corte igual a cero.

### **2.4.3 Viscosidad plástica**

Es aquella parte de la resistencia a fluir causada por fricción mecánica.

Esta fricción se produce:

- Entre los sólidos contenidos en el lodo.
- Entre los sólidos y el líquido que lo rodea.
- Debido al esfuerzo cortante del propio líquido.

En general, al aumentar el porcentaje de sólidos en el sistema, aumentará la viscosidad plástica.

El control de la viscosidad plástica en lodos de bajo y alto peso es indispensable para mejorar el comportamiento reológico y sobre todo para lograr altas tasas de penetración. Este control se obtiene por dilución o por mecanismos de control de sólidos.

Para lograr tal propósito, es fundamental que los equipos de control de sólidos funcionen en buenas condiciones.

Para determinar la viscosidad plástica se utiliza la siguiente ecuación:

Ecuación N° 7. Viscosidad plástica.

$$V_p \text{ (cps)} = \text{Lectura 600 r.p.m.} - \text{Lectura 300 r.p.m.}$$

Fuente: RUIZ Marco, Tecnología aplicada en los fluidos de perforación

Elaborado por: David Rodríguez

#### **2.4.4 Viscosidad aparente**

Se define como la medición en centipoises que un fluido Newtoniano debe tener en un viscosímetro rotacional, a una velocidad de corte previamente establecida, y que denota los efectos simultáneos de todas las propiedades de flujo.

Su valor puede estimarse de la siguiente forma:

Ecuación N° 8. Viscosidad aparente.

$$V.A \text{ (cps)} = \text{Lectura a 600 r.p.m.} / 2$$

Fuente: RUIZ Marco, Tecnología aplicada en los fluidos de perforación

Elaborado por: David Rodríguez

#### **2.4.5 Resistencia a la gelatinización**

Entre las propiedades del lodo, una de las más importantes es la gelatinización, que representa una medida de las propiedades tixotrópicas de un fluido y denota la fuerza de floculación bajo condiciones estáticas.

“La fuerza de gelatinización, como su nombre lo indica, es una medida del esfuerzo de ruptura o resistencia de la consistencia del gel formado, después de un período de reposo”.<sup>6</sup>

La tasa de gelatinización se refiere al tiempo requerido para formarse el gel. Si esta se forma lentamente después que el lodo esta en reposo, se dice que la tasa de

---

<sup>6</sup> RUIZ Marco, Tecnología aplicada en los fluidos de perforación.

gelatinización es baja y es alta en caso contrario. Un lodo que presenta esta propiedad se denomina tixotrópico. El conocimiento de esta propiedad es importante para saber si se presentarán dificultades en la circulación.

El grado de tixotropía se determina midiendo la fuerza de gel al principio de un período de reposo de 10 segundos, después de agitarlo y 10 minutos después. Esto se reporta como fuerza de gel inicial a los 10 segundos y fuerza de gel final a los 10 minutos.

La resistencia a la gelatinización debe ser suficientemente baja para:

- Permitir que la arena y el ripio sea depositado en el tanque de decantación.
- Permitir un buen funcionamiento de las bombas y una adecuada velocidad de circulación.
- Minimizar el efecto de succión cuando se saca la tubería y de pistón cuando se introduce la misma en el hoyo.
- Permitir la separación del gas incorporado al lodo.

Sin embargo, este valor debe ser suficiente para permitir la suspensión de la barita y los sólidos incorporados en los siguientes casos:

- Cuando se está añadiendo barita.
- Al estar el lodo estático.

#### **2.4.6 Punto cedente**

Se define como la resistencia a fluir causada por las fuerzas de atracción electroquímicas entre las partículas sólidas. Estas fuerzas son el resultado de las cargas negativas y positivas localizadas cerca de la superficie de las partículas.

El punto cedente, bajo condiciones de flujo depende de:

- Las propiedades de la superficie de los sólidos del lodo.
- La concentración de los sólidos en el volumen de lodo.
- La concentración y tipos de iones en la fase líquida del lodo.

Generalmente, el punto cedente alto es causado por los contaminantes solubles como el calcio, carbonatos, etc., y por los sólidos arcillosos de formación. Altos valores del punto cedente causan la floculación del lodo, que debe controlarse con dispersantes.

Para determinar este valor se utiliza la siguiente fórmula:

Ecuación N° 9. Punto cedente.

$$V_p (\text{lbs}/100 \text{ p}2) = \text{Lectura a } 300 \text{ r.p.m.} - V_p$$

Fuente: RUIZ Marco, Tecnología aplicada en los fluidos de perforación

Elaborado por: David Rodríguez

#### **2.4.7 Pérdida de filtrado**

La pérdida de fluido es una de las propiedades del lodo con importancia fundamental en las operaciones de perforación o completación.

Básicamente hay dos tipos de filtración: Estática y Dinámica.

La estática ocurre cuando el fluido no está en movimiento, mientras que la dinámica ocurre cuando el lodo fluye a lo largo de la superficie filtrante. Como es de esperarse, ambos tipos ocurren durante la perforación de un pozo.

Durante el proceso de filtración estática, el revoque aumenta de espesor con el tiempo y la velocidad de filtración disminuye por lo que el control de este tipo de filtración consiste en prevenir la formación de revoques muy gruesos. Por otro lado la filtración dinámica se diferencia de la anterior en que el flujo de lodo a medida que pasa por la pared del pozo tiende a raspar el revoque a la vez que el mismo se va formando, hasta que el grosor se estabiliza con el tiempo y la velocidad de filtración se vuelve constante, por lo que el control de este tipo de filtración consiste en prevenir una pérdida excesiva de filtrado a la formación.

Los problemas que durante la perforación se pueden presentar a causa de un control de filtración inadecuado son varios:

- Altos valores de pérdida de filtrado casi siempre resultan en hoyos reducidos lo que origina excesiva fricción y torque.
- Aumentos excesivos de presión anular debido a la reducción en el diámetro efectivo del hueco como resultado de un revoque muy grueso.
- Atascamiento diferencial de la tubería debido al aumento en la superficie de contacto entre esta y la pared del hoyo.
- Desplazamiento insuficiente del lodo durante la perforación primaria y una disminución en la producción potencial del yacimiento al dañar al mismo.

La pérdida de fluido depende de:

- La permeabilidad de la formación.
- El diferencial de presión existente.
- La composición del lodo.
- Temperatura del lodo.

Las rocas altamente permeables permiten altas tasas de pérdida de fluido, y al contrario las formaciones menos permeables producirán tasas más bajas de pérdida de fluido. La pérdida de fluido comienza a disminuir, después de un período de tiempo, aún en las formaciones altamente permeables.

La pérdida de fluido de alto volumen durante el esfuerzo inicial lleva sólidos a los espacios porosos interconectados entre los granos de arena. Mientras sigue la pérdida de fluido, más y más sólidos son llevados y empacados en los espacios porosos de las rocas. Una vez que los espacios se hayan ocupado suficientemente con los sólidos del lodo, se comienza a formar un revoque sobre la superficie del hoyo. Experimentos demuestran que la pérdida de filtrado se puede disminuir si se aumenta la concentración de sólidos en el lodo. El mecanismo en este caso consiste en aumentar la velocidad de acumulación del revoque, disminuyendo así el filtrado. Sin embargo, esta forma de control no es adecuado ya que resulta en revoques muy gruesos y de alta permeabilidad, aunque se observe una reducción en la pérdida de filtrado.

La mejor forma de controlar la filtración es controlando la permeabilidad del revoque.

El tamaño, la forma, y la deformidad de las partículas bajo presión son los factores más importantes a considerar.

Las partículas pequeñas, delgadas y planas son mejores ya que forman un revoque más compacto. La bentonita es el material cuyas partículas satisfacen adecuadamente estas especificaciones.

Los factores más importantes que afectan la filtración estática son:

- a- La permeabilidad del revoque.
- b- El área sobre lo cual se desarrolla la filtración.
- c- La presión diferencial de filtración.
- d- El grosor de revoque.
- e- La viscosidad del filtrado.
- f- El tiempo de filtración.

Los contaminantes solubles disminuyen el rendimiento de la bentonita y originan altas filtraciones. Estos contaminantes forman revoques gruesos que generalmente causan los siguientes problemas si no son contrarrestados:

- a- Atascamiento de la tubería.
- b- Derrumbes.
- c- Pérdida de circulación.
- d- Dificultad en la corrida e interpretación de los registros.
- e- Dificultad en la terminación del pozo.
- f- Disminución de la producción del pozo.

El proceso de filtración, cuando se circula es básicamente diferente a la filtración estática por la diferencia en la forma de deposición del revoque. Durante la filtración estática, el revoque será una función lineal del volumen de filtrado.

Los sólidos depositados durante la circulación y las características de flujo son factores determinantes en la composición del revoque. El revoque igualmente está determinado por la diferencia entre la tasa de deposición y la tasa de erosión, la cual dependerá principalmente de la velocidad del lodo, el tipo de flujo y las características del revoque en sí mismo.

El control de este tipo de pérdida de filtrado consiste esencialmente de la deposición de un revoque de baja permeabilidad en la cara de la roca permeable que está expuesta al lodo.

#### **2.4.8 Contenido de sólidos**

En un fluido de perforación existen sólidos deseables como la arcilla y la barita, y sólidos indeseables como ripios y arena, los cuales hay que eliminar del sistema. Para controlar en un mínimo los sólidos perforados se utilizan varios métodos, ya que es de suma importancia mantener el porcentaje de sólidos en los fluidos de perforación en los rangos correspondientes al peso del lodo en cuestión.

Este porcentaje puede ser determinado por medio de las siguientes fórmulas:

$$1) \% \text{ sólidos} = (\rho \text{ lodo} - 8.33) * 7.5 \text{ (lodo nativo)}$$

$$2) \% \text{ sólidos} = (\rho \text{ lodo} - 6) * 3.2 \text{ (invertido con peso)}$$

$$3) \% \text{ s\u00f3lidos} = 1 - \% \text{ fase l\u00edquida (base agua con peso)}$$

$$4) \% \text{ fase l\u00edquida} = (35 - \rho \text{ lodo}) / 26.67$$

Los s\u00f3lidos es uno de los mayores problemas que presentan los fluidos de perforaci\u00f3n cuando no son controlados. La acumulaci\u00f3n de s\u00f3lidos de perforaci\u00f3n en el sistema causa la mayor parte de los gastos de mantenimiento del lodo. Un programa adecuado de control de s\u00f3lidos ayuda enormemente a mantener un fluido de perforaci\u00f3n en \u00f3ptimas condiciones, de manera que sea posible obtener velocidades de penetraci\u00f3n adecuadas con un m\u00ednimo de deterioro para las bombas y dem\u00e1s equipos encargados de circular el lodo.

Algunos efectos de un aumento de los s\u00f3lidos de perforaci\u00f3n son:

- a- Incremento del peso del lodo.
- b- Alteraciones de las propiedades reol\u00f3gicas.
- c- Aumento en el filtrado y formaci\u00f3n de un revoque deficiente.
- d- Posibles problemas de atascamiento diferencial.
- e- Reducci\u00f3n de la vida \u00fatil de la broca y un aumento en el desgaste de la bomba de lodo.
- f- Mayor p\u00e9rdida de presi\u00f3n debido a la fricci\u00f3n.
- g- Aumento de las presiones de pistoneo.

Aunque es imposible remover todos los s\u00f3lidos perforados, con el equipo y las pr\u00e1cticas adecuadas, es posible controlar el tipo y la cantidad de los mismos en un nivel que permita una perforaci\u00f3n eficiente.

Los sólidos de perforación se pueden controlar utilizando los siguientes métodos:

a) La dilución.

Consiste en añadir agua al lodo, para reducir los sólidos en el volumen considerado.

Este método es el más costoso. La adición de agua dependerá de:

- a- Las especificaciones de peso del fluido de perforación.
- b- El tamaño del hoyo perforado.
- c- El tipo de formación perforada.
- d- La tasa de penetración.
- e- La eficiencia del equipo de control de sólidos.

b) El asentamiento.

Consiste en pasar el lodo por un tanque o fosa de asentamiento en donde los sólidos puedan decantar. La eliminación por asentamiento se aplica esencialmente a los lodos de baja viscosidad y peso, y necesita un área relativamente grande para darle tiempo a las partículas a asentarse.

c) El tercer método de control de sólidos es a través de equipos mecánicos.

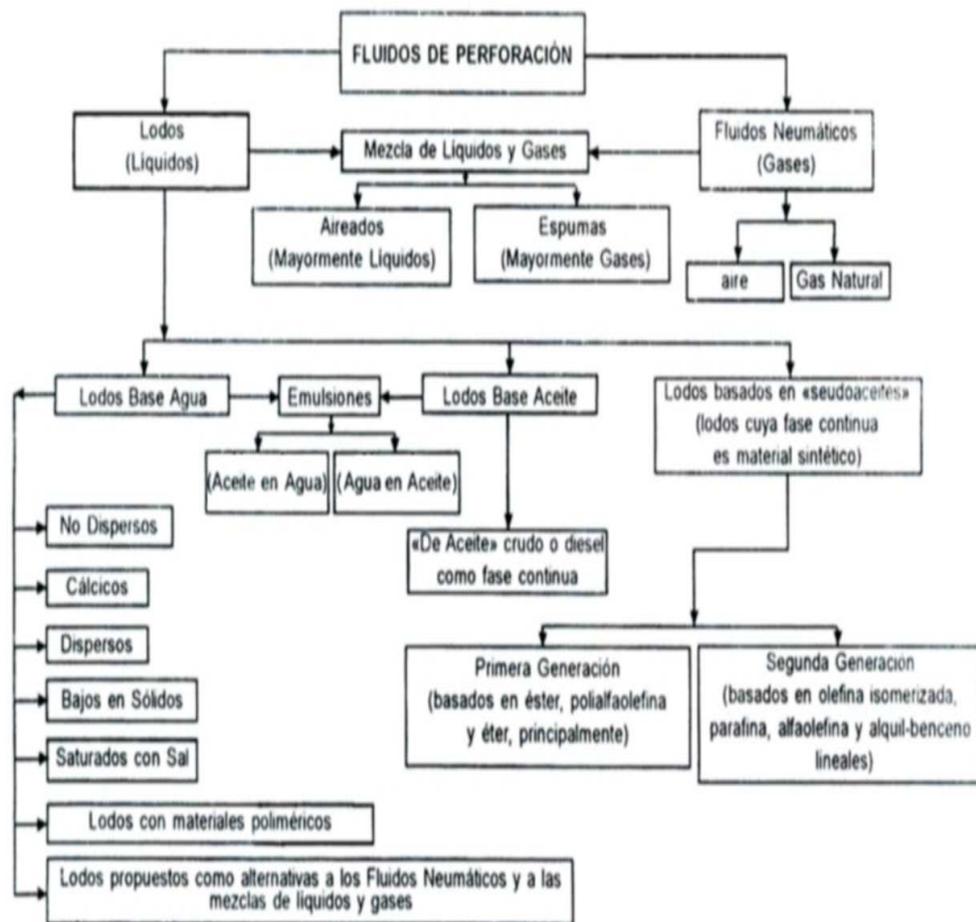
Para esto se utiliza: Las zarandas, desarenador, limpiadores de lodo y centrífugas. Las zarandas o rumbas constituyen el medio primario para controlar los sólidos y consiste en hacer pasar el fluido por una malla que filtra solamente las partículas que tengan un diámetro menor que los orificios de la malla. Los desarenadores ofrecen un medio mecánico muy eficaz para remover los sólidos nativos y la arena del fluido de

perforación y las centrifugas están diseñados para descartar todas las partículas de hasta 6 micrones.

## 2.5 CLASIFICACIÓN DE LOS FLUIDOS

La siguiente tabla agrupa los diferentes tipos de fluidos de perforación.

Figura N°5. Tabla de fluidos de perforación



Fuente: Perfounsa, “Lodos de Perforación”.

Elaborado por: David Santiago Rodríguez Valverde

Los fluidos a base de agua pueden ser subdivididos en diferentes tipos casi en su totalidad:

#### A. FLUIDOS A BASE DE AGUA

1. Lodos de agua dulce. Sin tratamiento químico.

a) Fluidos a base de bentonita (spudmuds o CBM).

b) Fluidos naturales.

2. Fluidos tratados con calcio.

a) A base de cal.

b) A base de cloruro de calcio.

3. Fluidos a base de agua salada.

a) Fluidos salados propiamente dichos.

b) Fluidos a base de agua salada.

c) Fluidos saturados de sal.

4. Fluidos emulsionados. (Aceite en agua).

5. Fluidos a base de surfactantes.

6. Fluidos de bajo porcentaje de sólidos.

a) No dispersos.

b) Dispersos.

c) Polímeros especiales.

## B. FLUIDOS A BASE DE ACEITE.

1. Fluidos a base de aceite.
2. Fluidos invertidos a base de aceite (emulsión de agua en aceite).

## C. FLUIDOS GASEOSOS.

1. Aire o gas natural.
2. Espuma.

Se debe tener en cuenta que los fluidos de perforación varían grandemente en su composición y en la cantidad y tipos de químicos necesarios para mantenerlo en la forma más económica posible.

### **2.5.1 Fluidos base agua**

“Los fluidos a base de agua son los que más se usan comúnmente. Sus ingredientes esenciales son el agua y arcillas, según se presentan problemas el fluido puede ser inhibido para combatirlos”.<sup>7</sup>

Un fluido "inhibido" es aquel cuya base acuosa tiene una composición química que tiende a retardar o eliminar el hinchamiento o dispersión de la lutita y arcillas de formación en el fluido, mediante métodos físicos o químicos.

---

<sup>7</sup> SIERO Luis, Fluidos de perforación.

Los sistemas de fluidos base agua se clasifican por la resistencia a los tipos de contaminantes de la formación y a sus temperaturas, los cuales se van transformando en su formulación debido a la incorporación de flujos como gases, sal, arcillas, yeso, líquidos y sólidos propios de la formación o de aditivos químicos excedidos y degradados.

1. Lodos a base de agua dulce.

- a) Lodos a base de bentonita (CBM = Clay Base Mud).

Estos lodos son los más usados para perforar las secciones superficiales del hueco para formar revoque en las paredes del hueco y prevenir derrumbes y ensanchamientos.

Para preparar este tipo de fluido se debe tener en cuenta el agua a usarse. Si el agua disponible es agua "dura", se debe tratar previamente con carbonato sódico para dar mayor rendimiento a la bentonita, 20 sacos de bentonita (100 lb/saco) hacen de 80 a 100 bbls de fluido de más o menos 15 cp de viscosidad. La velocidad anular en el primer hueco es generalmente baja y la mayoría de las compañías usan suficiente bentonita para dar cuerpo al lodo y remover mejor los cortes de formación.

Para preparar este fluido el agua se coloca en los tanques y se circula a través del embudo donde la bentonita es mezclada cuidadosamente a una rata de 2 a 15 minutos por saco. Si se observa grumos y pelotas flotando en la superficie indica que se ha mezclado la bentonita muy rápidamente y se debe usar las escopetas para batir el fluido. Se debe mezclar bentonita hasta que la viscosidad de embudo sea de 30 a 35 segundos. Algunas veces se mezcla agua y bentonita y luego se agrega cal, la cal espesa el fluido y se necesita menos bentonita para conseguir la viscosidad deseada.

b) Fluidos naturales.

Son aquellos que se componen de agua y arcillas perforadas y que necesita muy poco tratamiento químico y poca cantidad de bentonita agregada intencionalmente.

“Este tipo de fluido es el más común para perforar el hueco superficial y las zonas blandas debajo del revestidor superficial. Sin embargo, este tipo de lodo debe ser usado solamente en aquellas tareas donde las formaciones a perforar contengan una buena cantidad de arcillas "montmorillonitas"<sup>8</sup>.

Los fluidos naturales requieren de un gran volumen de agua para mantener el peso y la viscosidad en el rango deseado.

Si se deja aumentar en peso y la viscosidad del fluido, se reduce la rata de penetración y se hace correr más el riesgo de que se pegue la tubería o que se fracture la formación. Así tengamos el peso del fluido en el tanque de succión suficientemente bajo, la carga de ripios del fluido en el anular puede aumentar el peso seriamente si se perfora muy rápido en un hueco grande.

Se puede reducir el incremento del peso del fluido en el anular debido a los ripios, aumentando la rata de circulación o disminuyendo la rata de perforación.

---

<sup>8</sup> BAKER HUGHES, Manual de ingeniería.

## 2. Fluidos tratados con calcio.

Los fluidos tratados con calcio fueron muy comunes en las décadas del 40 y 50, ahora se usa muy poco desde la invención de los cromolignosulfonatos.

Los fluidos que contienen cantidades significantes de calcio, 100 a 1200 ppm, tienden a inhibir el hinchamiento de la lutitas. Esta propiedad es importante para controlar derrumbes de lutitas y ensanchamiento del hueco.

El calcio es necesario para convertir un sistema a base de calcio, es obtenida de cal hidratada, yeso o cloruro de calcio; o puede provenir de la perforación de zonas de calcio soluble, o cemento. El agua de mar contiene cierta cantidad de iones calcio o magnesio.

El problema más serio que se presenta con los fluidos a base de calcio es la severa gelatinización que ocurre a altas temperaturas.

## 3. Fluidos a base de agua salada.

Los fluidos a base de agua salada son los que contienen sobre 10000 ppm de sal en su composición y que no han sido convertidos a otro tipo de lodo como lignosulfonato o a base de cal.

Se puede subdividir en:

- a) Fluidos salados propiamente dichos.
- b) Fluidos a base de agua salada.

c) Fluidos con agua saturados de sal.

Se usan los fluidos salados o a base de agua de mar cuando la fase acuosa contiene una baja concentración sal resultante del uso de agua salada durante la perforación y mantenimiento, de un flujo de agua salada de formación o de pequeñas betas de sal encontradas durante la perforación, cuando se encuentran domos de sal, se debe usar fluidos saturados de sal para prevenir el ensanchamiento del hueco.

a) Fluidos salados propiamente dichos.

La contaminación, por sal a un en pequeñas cantidades floclula los fluidos a base de agua dulce y aumentar la rata de filtración, la bentonita se hidrata (o se hincha) menos al agregarse a aguas que contienen sobre 10000 ppm (1 %) de sal.

Debido a que la bentonita y arcillas comunes usadas para aumentar la viscosidad de los lodos no son efectivas en agua salada, se usan arcillas especiales (atapulguita) y asbestos para este propósito. Estos materiales desarrollan unas propiedades de suspensión y de acarreo adecuado, pero no imparte una apropiada rata de filtración, generalmente se debe acompañar la atapulguita con bentonita prehidratada para ayudar a bajar la filtración y para reducir la espuma causada por la atapulguita.

La característica más común de los fluidos a base de agua salada es la tendencia a producir espuma, existe antiespumante para controlar este tipo de problemas.

Los adelgazadores más comunes usados en fluidos en base de agua salada son los lignosulfonatos, pero algunas veces se usan taninos modificados para este propósito. Es conveniente hacer notar que la sal no puede ser tratada para precipitarla como se hace

con otros contaminantes, sólo se debe ajustar las propiedades para cumplir con las funciones adecuadas.

b) Fluidos a base de agua saturada de sal.

Un fluido saturado de sal requiere  $\pm$  125 lbs de sal/Vd. de agua. Los materiales normalmente usados para controlar los lodos a base de agua dulce no son efectivos.

- Atapulguita (20 a 25 lbs/bbl)
- Asbestos (2 a 5 lbs/bbl)
- Polímeros (1 a 5 lbs/bbl)

Para controlar la rata de filtración (también sube la viscosidad):

- Almidón (4 a 6 lbs/bbl) necesita preservativos (bactericidas) debajo de 250000 ppm de NaCl y debajo de un pH de 11.5. No es efectivo a alta temperatura.
- Bentonita prehidratada.

Para deflocular el fluido:

- Es muy difícil, en primer lugar.
- Usar lignosulfonatoprehidratado.

El pH depende del área y de la preparación inicial del fluido.

#### 4. Fluidos surfactantes.

Los fluidos a base de surfactantes se desarrollan principalmente para reemplazar los fluidos tratados con calcio cuando las altas temperaturas empezaron a ser problema. Ahora no son muy usados ya que han sido reemplazados por los fluidos lignosulfonatos.

#### **2.5.2 Fluidos base aceite**

Desde hace mucho tiempo se ha dirigido la atención hacia fluidos especiales para perforar en las zonas productoras ya que los fluidos a base de agua pueden dañar las formaciones esto es a que debido el aceite (petróleo) tiene menor efecto sobre las arcillas y los materiales solubles de la formación.

“El petróleo crudo ha sido usado en operaciones de terminación de la perforación desde mucho antes del advenimiento de los lodos a base de petróleo y está, por supuesto aún en uso y se recomienda en ciertas ocasiones”.<sup>9</sup>

Sin embargo hay desventajas serias del petróleo crudo como fluido de perforación:

- No tiene resistencia gel y por lo tanto su peso no puede ser aumentado.
- La densidad está limitada a aquella de los crudos disponibles.
- La viscosidad también está limitada a la que dan los crudos disponibles, aún cuando ésta puede ser encontrada dentro de un rango satisfactorio.
- Las escalas de filtración son altas y dado que los sólidos no se hidratan no forman una costra satisfactoria en la pared ni reducen la filtración a valores bajos aceptables.

---

<sup>9</sup> SCHULUMBERGER, Manual de Funciones de los fluidos de perforación.

- Los crudos frecuentemente contienen fracciones volátiles que les dan un bajo punto de inflamación y crean un serio peligro de incendio.

Al pasar los años se hizo hincapié en desarrollar aditivos para controlar la filtración del petróleo. El problema de la contaminación con agua fue atacado con la idea de que la emulsión haría que el agua actuara como una fase dispersa inerte, el error en este concepto fue descubierto hace años.

Los llamados lodos a base de petróleo propiamente dichos son aquellos que utilizan materiales asfálticos y jabones para viscosificar el lodo para limpiar el pozo y para controlar la filtración.

Se requiere de una pequeña cantidad de agua (2 a 5% en volumen) para controlar las propiedades del lodo, pero en general el agua es considerada como un contaminante.

### **2.5.3 Emulsiones invertidas**

A. Fluidos emulsionados (aceite en agua).

“Un fluido emulsionado es aquel fluido a base de agua que contiene aceite (gasoil) suspendido en forma de pequeñas gotas en la fase acuosa del lodo”.<sup>10</sup>

El agua formará la fase líquida externa o continua; mientras que el aceite formará la fase interna o discontinua. A este tipo de lodos se les denomina también emulsión o GEOM.

---

<sup>10</sup> SIERO Luis, Fluidos de perforación.

Es de primordial importancia que la emulsión sea estable y que no absorba "gasoil" libre en la superficie de los tanques. Para lograr dicha estabilidad es necesaria la presencia de agentes emulsionantes.

Algunas emulsiones estables dan origen a un filtrado nublado el cual es debido a la presencia de gotitas de aceite pequeñas y bien dispersas que han penetrado el revoque y el papel filtro. Mejorando las condiciones de revoque se puede evitar la aparición de "emulsión" en el filtrado.

Los mayores beneficios que se consiguen con el uso de fluidos emulsionados son:

a) Mejorar las condiciones del hueco.

Disminuye el torque de 20 a 50%, disminuye la presión de la bomba debido a que hay menos tendencia a embolamiento, es decir, la broca y el ensamblaje de fondo son mantenidos limpios. Se observa menos tendencia del hueco a ensancharse, menos derrumbes de lutitas y menos chance de pega de tubería.

b) Aumenta la vida de la broca.

Los fluidos emulsionados poseen una mejor capacidad de lubricación que los fluidos comunes a base de agua, esta lubricación ayuda a extender la vida útil de los conos de las brocas.

c) Aumenta la rata de penetración.

Al usar fluidos emulsionados se puede observar un aumento en la rata de penetración 10 cual resulta de la mejor limpieza, menor embolamiento de la broca y "drillcollars".

d) Disminuye la rata de filtración.

La pérdida de filtrado API es menor en los fluidos emulsionados que en los fluidos ordinarios a base de agua.

En general este tipo de lodos emulsionados se puede esperar que reaccionen a los tratamientos y a los contaminantes y al igual que sucede en los fluidos comunes a base de agua, sin embargo se deben observar las siguientes restricciones:

- a. La presencia de aceite en el fluido causará una fluorescencia tanto en los núcleos como en los ripios, especialmente si estos no son lavados durante el proceso de su análisis. Esta fluorescencia es obviamente diferente de aquella originada por el petróleo de formación, si el aceite usado en el fluido ha sido previamente refinado.
- b. El efecto del aceite sobre las mangueras, gomas y partes de las bombas puede ser minimizado con el uso de gomas sintéticas y que el aceite usado tenga un punto de anilina mayor de 150°F.
- c. El punto de inflamación (flash point) del "gasoil" debe estar por encima de 190°F.

Agentes emulsionantes para los fluidos emulsionados:

Es imposible preparar un lodo emulsionado mezclando simplemente agua y gasoil, por lo tanto se debe tener la presencia de un "emulsionante". Todos los sólidos de tamaño coloidal de un fluido a base de agua pueden servir como agentes emulsionantes.

Estos incluyen bentonita, partículas inertes como barita, colindes orgánico como el almidón, y los dispersantes orgánicos. La naturaleza y el grado de dispersión de estos sólidos afectan la estabilidad de la emulsión.

En la práctica se emplean un gran número de sustancias como agentes emulsionantes como los siguientes:

- Adelgazadores orgánicos: Lignitos, quebracho y lignosulfonatos. Estos materiales defloculan el fluido básico y actúan además como agentes emulsionantes.
- Coloides orgánicos hidratados: almidón.
- Agentes activos de superficie (surfactantes): Aniónicos (jabones, sulfonato de petróleo, etc.), no-iónicos (emulsionadores de fluido), mezcla de compuestos aniónicos no-iónicos (emulsificadores de fluido de bajo contenido de sólidos).

#### B. Fluidos emulsionados (agua en aceite).

También utilizan jabones y, en algunos casos materiales asfálticos. La diferencia principal radica en que el agua, de 10% al 50% en volumen, es agregada intencionalmente para formar la emulsión inversa, las gotitas de agua dispersa en el fluido contribuyen a la capacidad de acarreo de partículas y al control de la filtración estática sin aumentar la viscosidad del aceite en la fase líquida continua del fluido. Ejemplo de lodos de emulsión inversa son: INVERMUL (Bariod), CARBO- TEC (Milchem) y OIL-F AZE (Magcobar).

a) Composición de los fluidos a base de aceite.

Todos los lodos a base de petróleo presentan aceite (gasoil) como la fase líquida continua. En localizaciones lejanas o inaccesibles puede ser más económico usar el petróleo crudo disponible.

A la hora de seleccionar un determinado aceite para la preparación se debe tener pendiente las siguientes consideraciones:

1. Punto de inflamación.

Debe tomarse en cuenta un mínimo de 150°F.

2. Punto de anilina.

Esta es una indicación del contenido aromático del aceite y su tendencia a dañar las partes de goma del equipo de perforación se requiere de un mínimo de 150°F.

3. Viscosidad.

Para ciertas aplicaciones podría ser conveniente utilizara aceite de alta viscosidad debido a sus constituyentes parafínicos o asfálticos, no obstante una alta viscosidad de la fase continua (aceite) resulta en menores rata de penetración.

b) Control de la reología y poder de suspensión.

Los lodos a base de petróleo son mezclas cuidadosamente formuladas de asfalto oxidado, ácidos orgánicos, álcalis, agentes estabilizadores y aceites diesel con alto punto de inflamación. El aceite es la fase continua, y los otros ingredientes son agregados para impartir las propiedades físicas necesarias. El asfalto es

dispersado coloidalmente en el gasoil para proveer viscosidad y construcción de revoque.

Los ácidos orgánicos y álcalis se agregados para formar detergentes, los cuales imparten viscosidad y consistencia de gel para proveer propiedades de suspensión adecuadas.

En un tipo de fluido a base aceite, se usa un ácido grasoso (talloil) neutralizado con silicato de sodio. En otro tipo se utiliza ácido nafténico neutralizado con cal.

Un tercer contiene mezclas rosín y ácido nafténico neutralizado con cal.

Los jabones también actúan como agentes emulsionantes y pueden indirectamente ayudar a controlar la filtración.

Los aditivos asfálticos y detergentes tienden a dar una alta viscosidad plástica y baja resistencia de gel, especialmente cuando se mide a temperaturas de la superficie.

Las emulsiones inversas utilizan agua emulsionada para disminuir la concentración de detergentes y/o materiales asfálticos requeridos. La fase acuosa dispersa no aumenta la viscosidad de fase continua, pero si aumenta la viscosidad plástica del fluido.

Ciertas pruebas de laboratorio han demostrado que las gotitas de agua emulsionadas ayudan a los sólidos dispersos a sellar, contribuyendo por lo tanto

al control de filtración. Otras pruebas demuestran también que el aumento de la concentración de agua emulsionada tiende a disminuir la rata de penetración.

c) Aplicación de los fluidos a base de aceite.

Las aplicaciones de los fluidos a base de aceite son múltiples. En el pasado fueron misteriosos y complicados, pero ahora se reconocido que son fáciles de preparar y requieren muy poco mantenimiento. Los usos más comunes son los siguientes:

- Protección de las formaciones productoras.
- Perforación de las formaciones solubles en agua.
- Perforación de pozos calientes y profundos.
- Prevención de pegamiento diferencial.
- Toma de núcleos.
- Fluidos de completación y "casing packs".
- Disminución de corrosión de la tubería.
- Perforación de lutitas problemáticas.

Los fluidos a base de aceite correctamente preparados pueden hacerse de manera que contengan todas las propiedades necesarias de un fluido de perforación. Se pueden tener amplios rangos de viscosidad resistencia gel y pueden ser controlados con sustancias químicas especiales de la misma manera que los son los lodos a base de agua, la densidad de un lodo a base de petróleo sin habersele aumentado el peso es aproximadamente de 7,5 lb por galón (56 lb por pie cúbico).

Lodos a base de aceite con peso de hasta 21 libras por galón han sido preparados y su uso es enteramente práctico en caso de que se llegaran a necesitar pesos tan altos. La pérdida de líquido de un lodo a base de petróleo aproximadamente deberá ser de 0 en 30 min. (se determina por el ensayo de filtración estandarizado). Generalmente se corren las pruebas de filtración estáticas a alta presión temperatura.

Es importante un almacenamiento adecuado y control mecánico en el uso económico de lodos a base de petróleo, todos los pasos obvios tales como interrumpir las pérdidas de fluidos, observando las precauciones necesarias y mediante la provisión de equipos especiales, el que no se encuentra presente en los equipos corrientes, deberán ser proporcionados.

Si un lodo a base de petróleo va a ser usado para sustituir un lodo a base de agua en perforación o terminación de pozos deben tener un cuidado extremo cuando se haga el cambio con el objeto de no contaminar el lodo a base de petróleo. Colchones de separación de agua dulce, gasoil y preparados especiales deberán ser usados delante del lodo base de petróleo.

El personal de perforación pone objeción a las áreas de trabajo tan sucias y resbaladizas que no se pueden evitar completamente al usar lodos a base de petróleo, pero la provisión de ropa especial, trapos, limpiadores para el piso y para las manos, son muy útiles para evitar esto. Los análisis geológicos de ripios

de pozos de petróleo base son más complicados y los perfiles eléctricos son menos satisfactorios.

d) Ventajas y Desventajas de los fluidos a base de aceite.

**Ventajas.**

- 1) Es más inhibido que los fluidos inhibidos a base de agua.
- 2) Efectivo contra todo tipo de corrosión.
- 3) Estable en altas temperaturas.
- 4) Mejor lubricación (es muy difícil que se observe pegamiento diferencial).
- 5) Permite mayor rango de peso del fluido (56 a 147 lb/pie).
- 6) No usa mucha agua (se observa menor aumento en el nivel de la fosa de desperdicios).
- 7) Es más resistente a la contaminación por cemento y gas.

**Desventajas.**

- 1) Costo inicial muy alto.
- 2) Es muy sucio. Requiere normas para protección del ambiente.
- 3) Ratas de penetración algo menores.
- 4) Reduce la efectividad de los registros eléctricos para evaluación de las formaciones.
- 5) Es más difícil de controlar la pérdida de circulación.
- 6) La detección de corte de gas es más difícil.

7) Actúa sobre las gomas del equipo (BOP's, protectores, camisas de bombas, etc.).

#### **2.5.4 Fluidos neumáticos**

a) Aire o gas natural

Circulación simultanea de aire y lodo dentro del espacio anular. Es decir, aire en forma de burbujas dispersas en un líquido para reducir la ECD (Densidad equivalente de circulación) por debajo de la del agua.

Se usa de 4 a 8 lb/gal para controlar el pozo. Estos lodos deberían tener bajos esfuerzos de gel ( $Y_p$ ) para facilitar la separación del aire y obtener una baja viscosidad y buenas características de control de filtrado y de la corrosión.

##### **Ventajas**

- Aumenta las presiones hidrostáticas, mayores a las presiones de la perforación con aire o niebla.
- Facilita la buena limpieza del pozo, con velocidades de hasta 2 a 3 veces más altas.
- Permite buen control de revoque y de filtrado.

##### **Desventajas**

- Requiere equipos adicionales.
- Tiene mayores velocidades de corrosión.

Puede sufrir problemas de fluctuación y surgencias intermitentes en secciones de gran diámetro y expone al pozo a un flujo turbulento.

b) Espuma

Usa espuma como agente de transporte para la remoción de recortes, en lugar de la velocidad del aire. La perforación con espuma requiere menos volumen que la perforación con aire y se vale de la fuerza de las burbujas para eliminar los recortes, mientras que la perforación con aire y rociado fino dependen de tasas de flujo extremadamente altas. Una indicación de eficaz perforación con espuma la da un flujo de espuma continuo y regular en la línea de descarga. Un flujo pulsante e irregular (cabeceo) puede indicar problemas con las columnas de flujo. Además de limpiar el pozo, la espuma deposita una costra fina sobre las paredes del pozo para mejorar su estabilidad. Para espesar la espuma y mejorar la limpieza del pozo y su tolerancia al agua, se usan polímeros y/o bentonita a fin de mezclarlos en una lechada.

Determinación de volúmenes de aire y fluido:

En la perforación con espuma, el aire inyectado controla la cantidad de espuma.

Los requerimientos de volumen de aire se calculan usando la siguiente fórmula:

Ecuación N° 10. Requerimiento de volumen de aire.

$$\text{Velocidad en pies/min} = \frac{(183.4) \text{ cfm}}{D_h^2 - D_p^2}$$

Fuente: Curso de transporte de crudos, Ing. Fausto Ramos

Elaborado por: David Rodríguez

Donde;

$D_h$  = Diámetro del pozo en pulgadas.

$D_p$  = Diámetro de la tubería de perforación en pulgadas.

cfm = Pies cúbicos por minuto.

## **2.6 MÉTODOS DE CONTROL DE SÓLIDOS**

Los elevados costos de perforación alrededor del mundo están obligando a las contratistas y operadoras a conocer sobre los beneficios, técnicas y el equipo disponible para un efectivo control de sólidos.

### **2.6.1 Dilución**

La dilución, o sea la adición de fluido base a un sistema de lodo, sirve para:

- 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 dilución puede generar volúmenes excesivos. Los costos de descarte y limpieza suelen ser muy onerosos.

### **2.6.2 Desplazamiento**

Es la remoción o descarte de grandes cantidades de fluido por fluido nuevo con óptimas propiedades reológicas.

- Única manera de retirar todos los contaminantes (sin adición de químicos).
- Normalmente la manera de control de sólidos más costosa.
- Última opción en muchos casos.

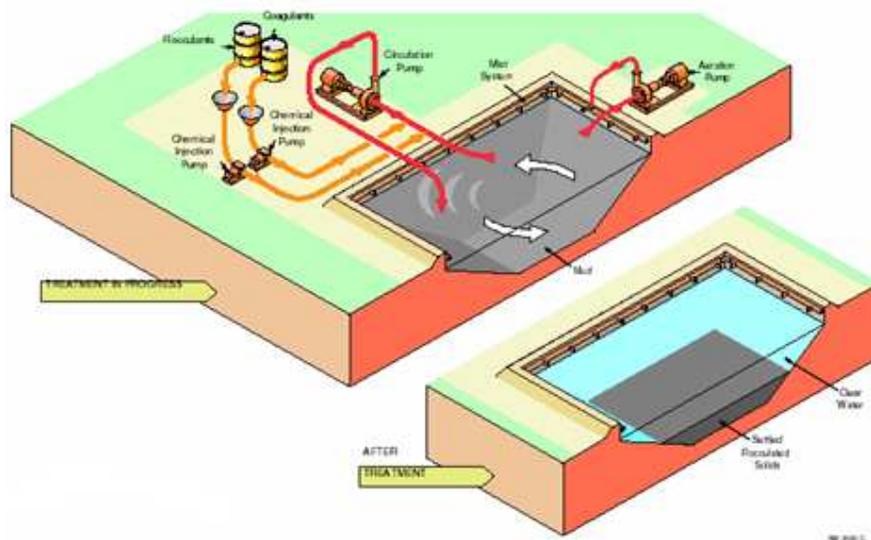
## 2.7 Piscinas de asentamiento (gravedad)

Es la separación de partículas sólidas por efecto de la gravedad, debido a la diferencia en la gravedad específica de los sólidos y el líquido.

Depende del tamaño de partículas, gravedad específica y viscosidad del fluido.

Restricciones ambientales y requiere de mucho tiempo para separarse.

Figura N°6. Diagrama de piscina de Asentamiento.



Fuente: Drilling Fluids Engineering Manual, MI SWACO

Elaborado por: David Santiago Rodríguez Valverde

### **2.7.1 Separación mecánica**

Separación selectiva de los sólidos perforados del fluido por diferencias de tamaño y masa. Hay varios tipos de equipos los cuales son diseñados para operar eficientemente bajo condiciones específicas, el objetivo de diseño de cualquier equipo de control de sólidos es alcanzar, paso a paso, la remoción progresiva de los sólidos perforados. Esto permite que cada equipo optimice el desempeño del equipo siguiente. Además, el sistema debe tener la habilidad para diferenciar entre los sólidos perforados y el valioso material pesante.

### **2.7.2 Clasificación de sólidos**

Los sólidos en los fluidos de perforación pueden clasificarse en dos categorías basándose en la densidad específica (o peso específico) y en tamaño de las partículas.

#### a) Densidad Específica

Los sólidos clasificados por la densidad específica (S.G.) se dividen en dos grupos:

- Sólidos de alta densidad (HGS), S.G. > 4.2 (materiales densificantes)
- Sólidos de baja densidad (LGS) de 1.6 a 2.9 (promedio de aproximadamente 2.6).

Dichos sólidos incluyen: arena, arcillas, lutitas, dolomita, carbonato de calcio y muchos materiales para el tratamiento de fluidos.

En el fluido que contiene solamente sólidos de alta gravedad o de baja gravedad, la densidad del fluido es una función de la concentración de sólidos. Los fluidos que contienen ambos tipos de sólidos tendrán un contenido total de sólidos que varía entre

las concentraciones de alta y baja gravedad necesarias para lograr una densidad particular. Debido a que algunos sólidos de baja gravedad se utilizan en la mayoría de las preparaciones de fluidos de perforación y aún más se siguen incorporando durante la misma perforación, éste será siempre el caso en un fluido de perforación normal.

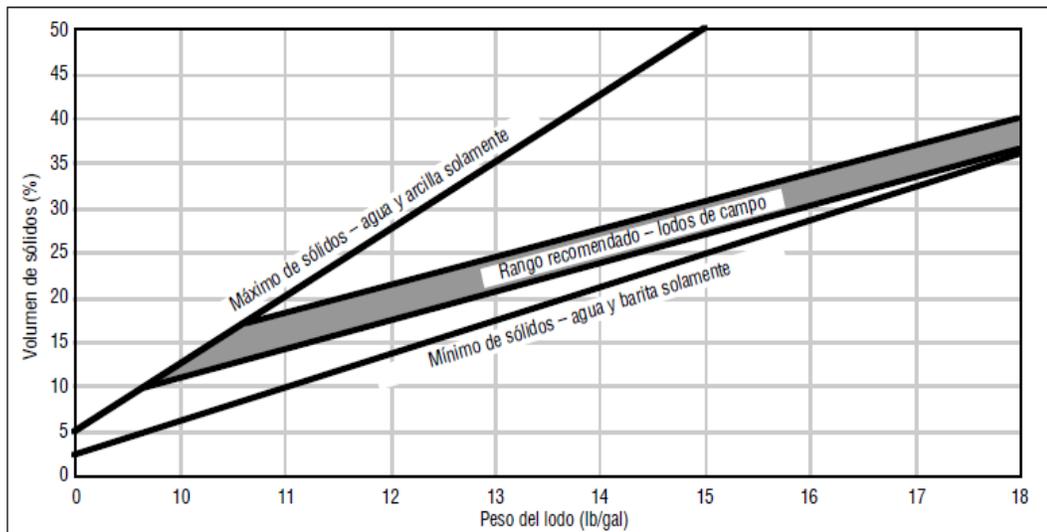
Tabla N° 1. Densidad de materiales comunes en campos petroleros

<b>material</b>	<b>gr/cm<sup>3</sup></b>
Hematita	5.0
Barita	4.0-5.0
Bentonita	2.3-2.7
Caliza	2.7-2.9
Aceite diesel	0.85
Agua (dulce)	1.0
Arena	2.6-2.7

Fuente: Folleto de Fluidos de Perforación y Completación de QMAX.

Elaborado por: David Santiago Rodríguez Valverde

Figura N°7. Rango recomendado de sólidos



Fuente: Drilling Fluids Engineering Manual, MI SWACO

Elaborado por: David Santiago Rodríguez Valverde

#### b) Tamaño de las partículas

Los sólidos se clasifican de acuerdo al tamaño y se miden en unidades llamadas micrones ( $\mu$ ). Un micrón es 1/25400 de una pulgada y 1/1000 de un mm. El tamaño de las partículas es importante en el fluido de perforación por las siguientes razones:

Mientras más pequeña sea la partícula, más pronunciada es el efecto en las propiedades del fluido.

Las partículas de tamaño coloidal afectan drásticamente las propiedades del fluido.

Es extremadamente importante remover tantas partículas como sea posible en la primera circulación. Las partículas más grandes se convertirán en partículas más pequeñas a medida que reaccionan con el fluido de perforación y circulan a través del sistema.

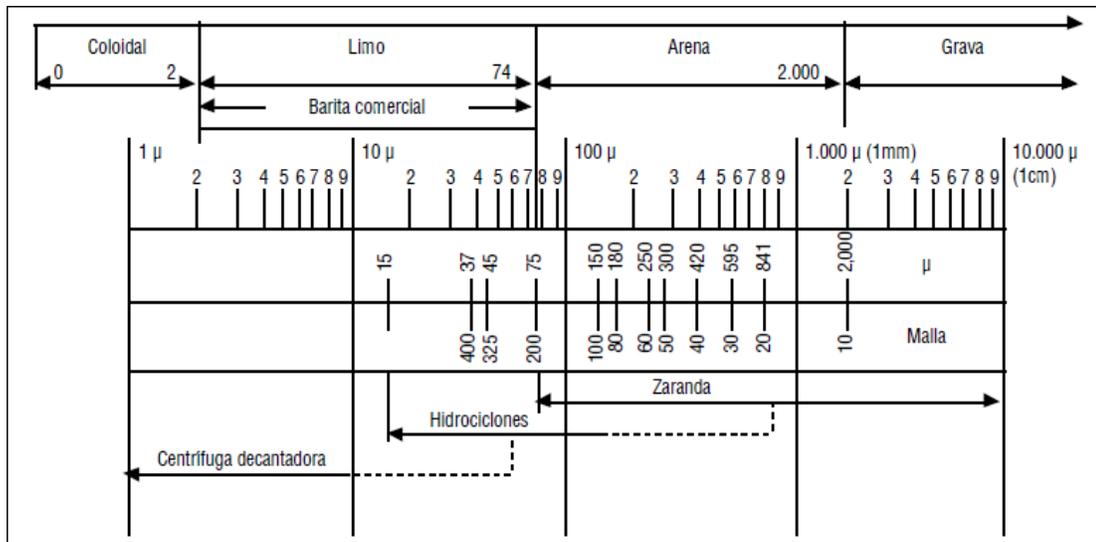
Tabla N° 2. Clasificación API en base al tamaño de las partículas

Tamaño de las partículas (micrones)	Clasificación de las partículas	Tamaño del tamiz
Mayor que 2000	Grueso	10
2000-250	Intermedio	60
250-74	Medio	200
74-44	Fino	325
44-2	Ultra fino	....
2-0	Coloidal	....

Fuente: Folleto de Fluidos de Perforación y Completación de QMAX.

Elaborado por: David Santiago Rodríguez Valverde

Figura N° 8. Clasificación de los tamaños de partículas



Fuente: Drilling Fluids Engineering Manual, MI SWACO

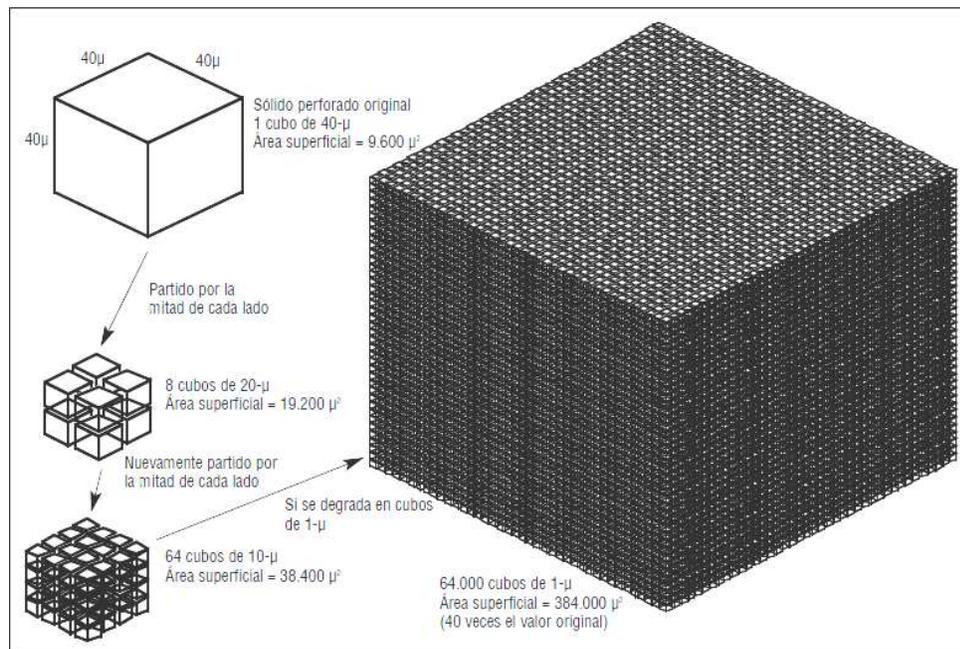
Elaborado por: David Santiago Rodríguez Valverde

Efecto del tamaño de las partículas sobre área superficial:

En un lodo de perforación, la viscosidad aumenta proporcionalmente al área superficial de los sólidos. El área superficial de todos los sólidos debe estar humectada. A medida que la cantidad de líquido disminuye debido al aumento del área superficial, la viscosidad del fluido aumenta y la eficiencia disminuye.

Los sólidos coloidales producen la mayoría de la viscosidad en los lodos de perforación, debido a este aumento del área superficial. Por este motivo, el volumen de los sólidos coloidales contenidos en el lodo de perforación debe ser controlado por razones de economía y eficacia.

Figura N° 9. Efecto del tamaño de las partículas sobre área superficial



Fuente: Drilling Fluids Engineering Manual, MI SWACO

Elaborado por: David Santiago Rodríguez Valverde

## **2.8 EQUIPOS DE CONTROL DE SÓLIDOS**

Todo personal de perforación reconoce la importancia del lodo de perforación, uno de los usos primarios del fluido de perforación es llevar los sólidos no deseados del pozo perforado. Tres opciones están disponibles para mantener las propiedades de los fluidos de perforación:

- No hacer nada y dejar que los sólidos aumenten. Cuando el lodo ya no tenga las especificaciones requeridas, deséchese y empiece con lodo fresco.
- Diluya el lodo y reconstruya el sistema para mantener las propiedades dentro de los límites aceptables.
- Bajar los contenidos de sólidos por medio de la extracción de sólidos para minimizar la suma/dilución necesaria para mantener las propiedades aceptables.

La extracción de los sólidos para minimizar volúmenes de la suma/dilución es normalmente más efectiva, además que provee de medidas ambientales.

La preparación de los fluidos de perforación involucran distintos sólidos que van desde sales hasta polvos químicos usados como aditivos. Los sólidos perforados afectan también a las propiedades y se incorporan al lodo durante la etapa de perforación lo que causa un aumento en la concentración de sólidos.

Los beneficios de retirar el exceso de ripios del fluido son:

- Menor costo del tratamiento del fluido.
- Menor torque y arrastre.

- Mayores tasas de penetración.
- Menor pérdida de presión del sistema, lo que genera una menor Densidad Equivalente de Circulación (EDC) y menos casos de pérdida de circulación.
- Se requiere menos agua.
- Menores trabajos de cementación.
- Menos “pegamiento” o atascamiento diferencial.
- Menos daño a la formación.

### **2.8.1 Puntos de corte de los equipos de control de sólidos**

Una vez de que el fluido llega a superficie conjuntamente con los ripios de la remoción, se envía a otro equipo de superficie que permita una disposición final de los cortes de ripios.

El punto de corte se refiere a la combinación de un tamaño micrométrico con el porcentaje del tamaño de partículas que se elimina.

En la mayoría del tiempo el fluido de perforación es tratado para ser inyectado al pozo, reduciendo los costos operativos. El equipo encargado de este trabajo es el equipo de control de sólidos.

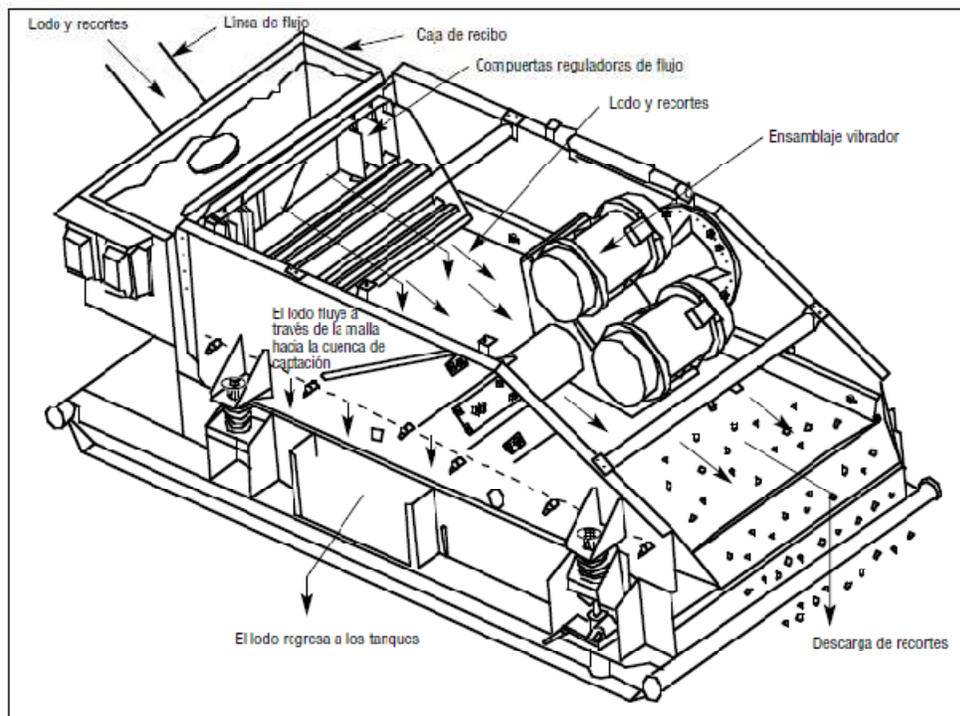
El equipo de separación primaria comprende las zarandas separadoras de ripio y arena, separador de gas, desarenador, desarcillador y centrifugas, también conocidas como equipos de separación mecánica de control de sólidos.

### 2.8.1.1 Zarandas

Este equipo es la herramienta más importante para el control de sólidos, es muy eficiente y puede remover la mayor cantidad de sólidos del fluido.

Como primera etapa de la cadena de limpieza de lodo ó remoción de sólidos, las zarandas constituyen la primera línea de defensa contra la acumulación de sólidos. Las zarandas se diferencian de los otros equipos de eliminación de sólidos en que producen un corte de prácticamente 100% al tamaño de abertura de la malla. Como se muestra en la Figura N° 8, una zaranda de malla 200 cuadrada eliminará 100% de los sólidos más grandes que 74 micrones, lo cual elimina la necesidad de usar un desarenador.

Figura N° 10. Zaranda lineal ajustable



Fuente: Drilling Fluids Engineering Manual, MI SWACO

Elaborado por: David Santiago Rodríguez Valverde

Muchos problemas potenciales pueden ser evitados observando y ajustando las zarandas para lograr la eficiencia máxima de remoción en base a la capacidad de manejo. El uso de mallas con los entramados más finos para eliminar la mayor cantidad posible de sólidos durante la primera circulación del pozo constituye el método más eficaz de control de sólidos. Esto impide que los sólidos sean circulados de nuevo y que su tamaño se degrade tanto que no puedan ser eliminados. Las zarandas pueden eliminar hasta 90% de los sólidos generados.

Las zarandas no pueden eliminar los sólidos que tienen tamaños de limo y coloidales, por lo tanto resulta necesario usar la dilución y otros equipos para controlar los sólidos perforados ultrafinos.

Actualmente se usan tres tipos básicos de zarandas. Éstos son:

- La zaranda de movimiento circular.

La cual es un tipo de zaranda más antigua en el mercado y produce generalmente la fuerza centrífuga, o fuerza G, más baja.

La zaranda de movimiento circular tiene una baja fuerza G y produce un transporte rápido. Este diseño es eficaz con los sólidos pegajosos de tipo arcilloso, al reducir el impacto que estos sólidos tienen sobre la superficie de la malla. Esta zaranda tiene una baja capacidad para secar los recortes; por lo tanto, los recortes descargados son generalmente húmedos.

- La zaranda de movimiento elíptico.

La cual es una versión modificada de la zaranda de movimiento circular, en la cual se levanta el centro de gravedad por encima de la cubierta y se usan contrapesos para producir un movimiento “oviforme” cuya intensidad y desplazamiento vertical varían a medida que los sólidos bajan por la cubierta.

La zaranda de movimiento elíptico tiene una fuerza G moderadamente alta y un transporte lento en comparación con los tipos circulares o lineales. Esta zaranda produce el mayor secado, y por lo tanto se puede usar en lodo densificado o como limpiador de lodo para secar el flujo que sale por debajo de un desarcillador.

- La zaranda de movimiento lineal.

La cual utiliza dos motores de movimiento circular montados en la misma cubierta. Los motores están configurados para rotaciones contrarias para producir una fuerza G descendente y una fuerza G ascendente cuando las rotaciones son complementarias, pero ninguna fuerza G cuando las rotaciones son contrarias. La fuerza G de la mayoría de las zarandas de movimiento lineal varía aproximadamente de 3 a 6.

La zaranda de movimiento lineal es la más versátil y comúnmente utilizada, produciendo una fuerza G bastante alta y un transporte potencialmente rápido, según la velocidad rotacional, el ángulo de la cubierta y la posición de la malla vibratoria.

Figura N° 11. Zaranda King Cobra



Fuente: BRANDT, The Handbook on Solids Control and Waste Management

Elaborado por: David Santiago Rodríguez Valverde

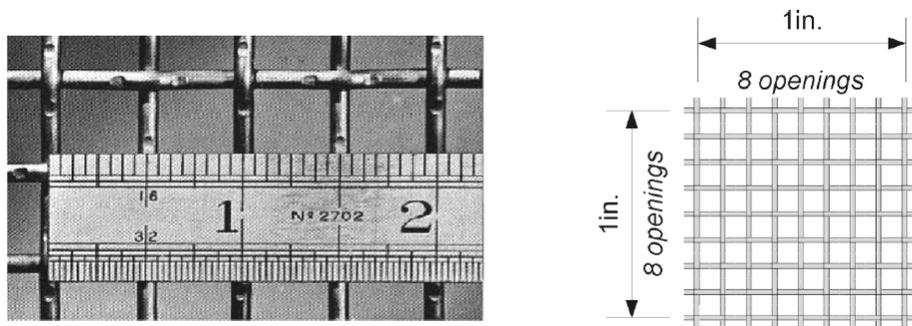
### 2.8.1.2 Mallas de las zarandas

Una zaranda sólo es tan buena como el tamaño del entramado y la calidad de su malla.

Actualmente hay muchos tipos de mallas disponibles, cuyos rendimientos son variables.

Malla es definida como el número de aberturas por pulgada lineal.

Figura N° 12. Número de aberturas por pulgada lineal



Fuente: BRANDT, The Handbook on Solids Control and Waste Management

Elaborado por: David Santiago Rodríguez Valverde

Por ejemplo, una malla “cuadrada” de malla 30 x 30 tiene 30 aberturas a lo largo de una línea de 1 pulgada en ambas direcciones. Una malla “oblonga” (abertura rectangular) de malla 70 x 30 tendrá 70 aberturas a lo largo de una línea de 1 pulgada en una dirección, y 30 aberturas en una línea perpendicular de 1 pulgada. Según el fabricante, el tamaño del alambre y el tejido, esta malla de malla 70 x 30 se puede describir como: (1) una malla “oblonga” o “rectangular” de malla 70, (2) una malla “oblonga 80” para clasificar la abertura rectangular eficaz en términos de cuadrado equivalente, o posiblemente (3) una malla de malla 100.

Tabla N° 3. Malla BHX (Blue Hex) para zarandas lineales BRANDT

Designación de la Malla	Tamiz Equivalente (malla)	Punto de Corte ( $\mu$ )			Conductancia (kD/mm)
		D <sub>50</sub>	D <sub>16</sub>	D <sub>84</sub>	
BHX 24	20	884	872	898	15,40
BHX 38	31	579	567	588	14,70
BHX 50	44	360	255	410	12,20
BHX 70	69	215	141	280	5,30
BHX 84	81	176	123	230	4,50
BHX 110	100	149	103	190	3,40
BHX 140	104	144	102	170	3,80
BHX 175	144	103	71	133	1,90
BHX 210	170	88	63	106	1,70
BHX 250	228	63	43	80	1,40
BHX 275	252	57	42	68	1,20
BHX 325	319	45	35	51	0,98
BHX 370	336	43	32	49	0,50
BHX 425	368	40	33	42	0,61
BHX 4750	N/A	28	21	32	0,15

Fuente: Drilling Fluids Engineering Manual, MI SWACO

Elaborado por: David Santiago Rodríguez Valverde

Eficiencia de las mallas:

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

- a) Finura de la malla.- El tamaño de las aberturas de tamiz determina el tamaño de las partículas que un tamiz 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, índices 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.

- b) Diseño de las mallas.- Las mallas están disponibles en diseños bi- y tri-dimensionales.

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.

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.

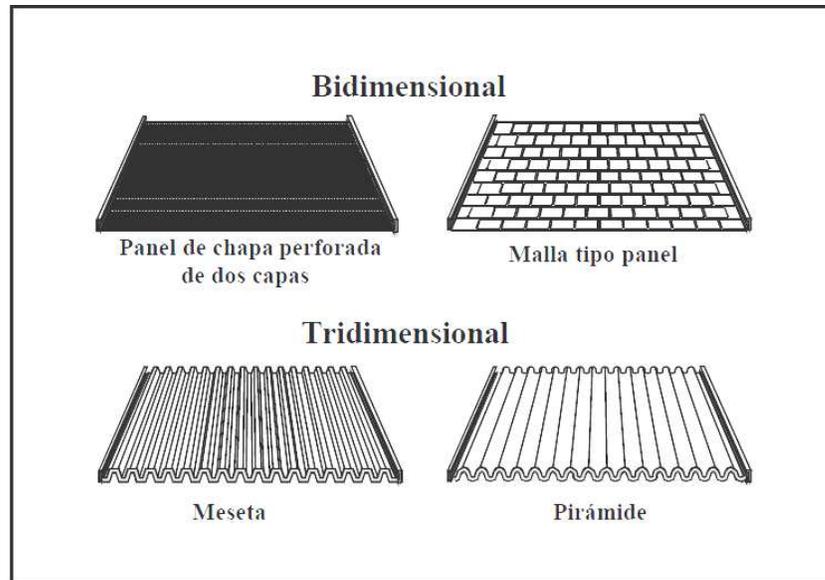
Los diferentes tipos de mallas tridimensionales son:

- Pirámide
- Meseta

Designaciones de las mallas:

La API (RP13E) recomienda que todas las mallas sean rotuladas con el nombre de la malla, potencial de separación y capacidad de flujo. Los rótulos opcionales de mallas incluyen el número de tamiz U.S., relación entre dimensiones, y la transmitancia.

Figura N° 13. Tipos de mallas bidimensionales y tridimensionales



Fuente: Baroid Fluids Handbook, BAROID DRILLING FLUIDS INC

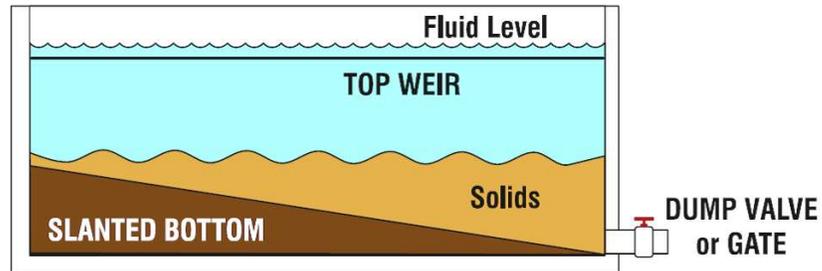
Elaborado por: David Santiago Rodríguez Valverde

### 2.8.1.3 Trampa de arena

Los tanques de asentamiento casi nunca son usados en las operaciones modernas de perforación; sin embargo, pueden ser usados de vez en cuando. La proporción de sólidos que se depositan en los tanques de asentamiento o las trampas de arena depende de:

- (1) El tamaño, la forma y la gravedad específica de las partículas.
- (2) La densidad del fluido de perforación.
- (3) La viscosidad del fluido de perforación.
- (4) El tipo de régimen de flujo del fluido.
- (5) El tiempo de estancia en el tanque.

Figura N°14. Trampa de arena, tanques siguientes a la sarandas.



Fuente: BRANDT, The Handbook on Solids Control and Waste Management.

Elaborado por: David Santiago Rodríguez Valverde

De acuerdo con la ley de Stokes, la sedimentación eficaz de los sólidos sólo puede lograrse cuando el fluido tiene un flujo laminar. Las velocidades de sedimentación pueden ser aumentadas usando bajas viscosidades y bajos esfuerzos de gel. Bajo condiciones de flujo tapón o flujo turbulento, la sedimentación de sólidos es mínima, ya que sólo las partículas muy grandes tienden a sedimentarse. En un equipo de perforación con zarandas de capacidad inferior, una trampa de arena o un tanque de asentamiento eliminarán algunos de estos sólidos perforados de gran tamaño. La mayoría de las zarandas modernas eliminarán los sólidos de tamaño de arena y más grandes sin necesitar el uso de trampas de arena y/o tanques de asentamiento.

Ecuación N° 11.Ley de Stokes

$$V = \frac{D^2 * (SG_S - SG_L) * G}{K * \mu}$$

Donde;

V = Velocidad de asentamiento.

D = Diámetro de sólido.

SGS= Gravedad específica sólido.

SGL= Gravedad específica líquido.

G = Fuerza gravitacional.

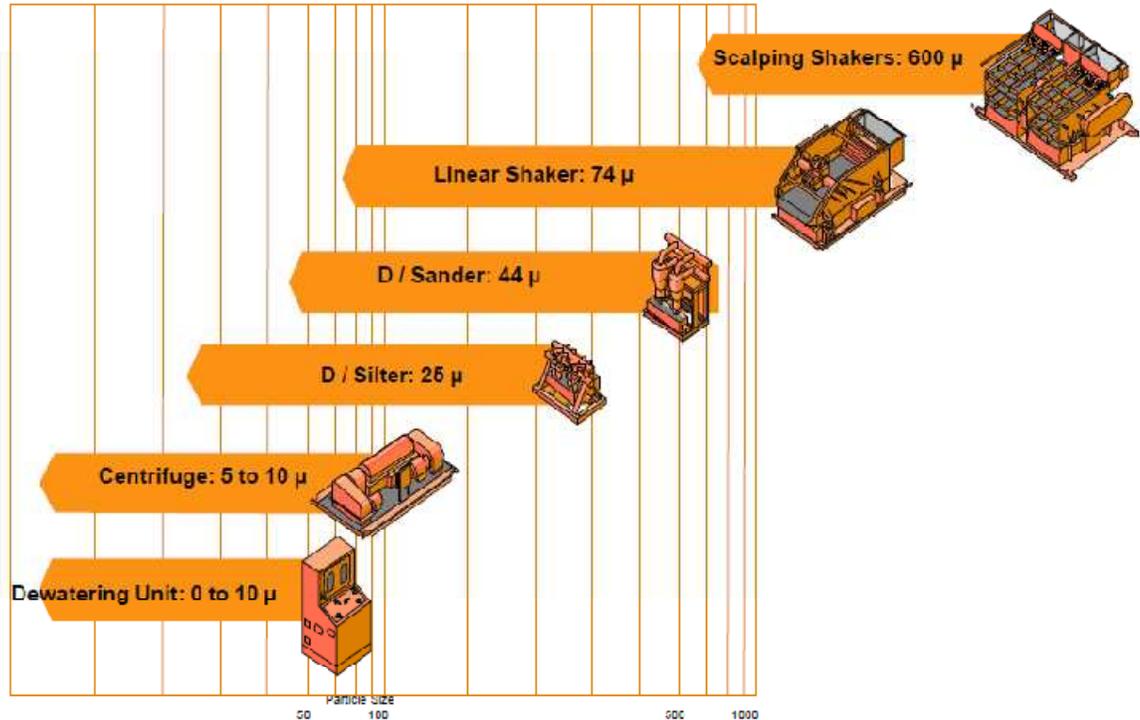
K = Constante.

$\mu$  = Viscosidad de líquido.

La capacidad del equipo de control de sólidos es determinada por el volumen de lodo que éste puede procesar y la cantidad y el tamaño de los sólidos que puede eliminar. Ningunos de los equipos de control de sólidos usados en la perforación podrá eliminar el 100% de los sólidos generados.

Para comparar la eficiencia de los equipos de control de sólidos, se usa una clasificación de los tamaños de partículas basada en el punto de corte.

Figura N° 15. Puntos de corte de los equipos de control de sólidos



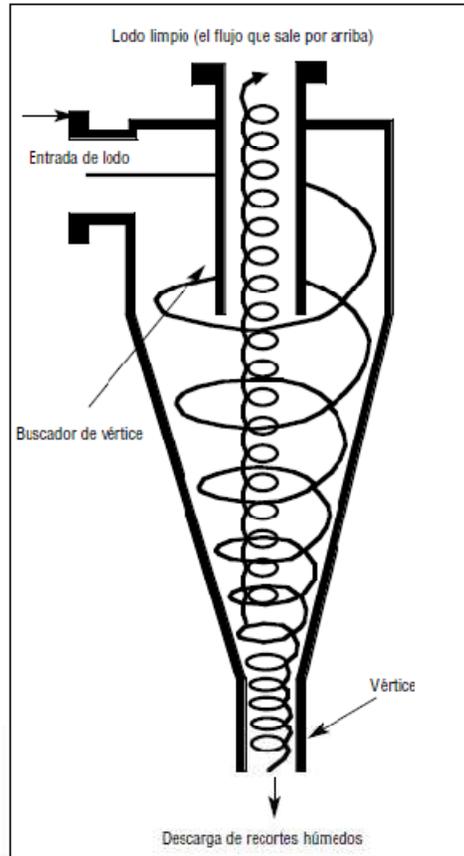
Fuente: Drilling Fluids Engineering Manual, MI SWACO

Elaborado por: David Santiago Rodríguez Valverde

#### 2.8.1.4 Hidrociclones

A pesar de que la zaranda es considerado el aparato principal para remover sólidos, los hidrociclones es un método de ahorro para remover muchos de los sólidos finos dejados pasar por el agitador en lodo sin peso. En algunas formaciones los sólidos son muy finos para que la zaranda los remueva. Se deben depender de los hidrociclones para que remuevan la mayoría de los sólidos. En estas ocasiones la zaranda protege los hidrociclones de partículas grandes las cuales pueden causar bloqueo. Debido a que los hidrociclones no cuentan con partes de movimiento, está puede ser un equipo muy valuable cuando se opera correctamente así como su mantenimiento.

Figura N° 16. Esquema del funcionamiento de un hidrociclón



Fuente: Drilling Fluids Engineering Manual, MI SWACO

Elaborado por: David Santiago Rodríguez Valverde

Una bomba centrífuga suministra un alto volumen de lodo a través de una abertura tangencial en el gran extremo del hidrociclón embudado. Cuando se usa la cabeza hidrostática (presión) apropiada, esto produce el movimiento vorticoso del fluido, parecido al movimiento de una tromba de agua, un tornado o un ciclón, expulsando los sólidos húmedos de mayor masa por el fondo abierto y devolviendo el líquido a través de la parte superior del hidrociclón. Por lo tanto, todos los hidrociclones funcionan de manera similar, que se usen como desarenadores, desarcilladores o eyectores de arcilla.

La cabeza hidrostática está relacionada con la presión de la siguiente manera:

Ecuación N° 12. Cabeza hidrostática.

$$\text{Cabeza hidrostática (pies)} = \text{Presión (psi)} / [0,52 \times \text{peso del lodo (lb/gal)}]$$

Elaborado por: David Rodríguez

Fuente: Curso de transporte de crudos, Ing. Fausto Ramos

Muchos hidrociclones están diseñados para aproximadamente 75 pies de cabeza hidrostática en el múltiple de admisión.

Como el peso del lodo es un factor en la ecuación que antecede, la presión requerida para producir la cabeza hidrostática apropiada varía con el peso del lodo. La cabeza hidrostática debe ser medida en el múltiple de admisión, ya que disminuirá entre la bomba y el múltiple del hidrociclón. Una cabeza hidrostática inadecuada resultará en el procesamiento de volúmenes más pequeños de lodo y un punto de corte más alto del que se desea obtener. Por ejemplo, cuando la cabeza hidrostática es de 45 pies en vez de 75 pies, un hidrociclón de 4 pulgadas sólo procesará 40 gpm en vez de 50 gpm, y el punto de corte será de 55 micrones en vez de 15 micrones. Una cabeza hidrostática excesiva también es perjudicial, ya que la mayoría de los sólidos serán transportados de nuevo dentro del sistema de lodo.

Un pequeño tubo llamado “buscador de vértice” se extiende dentro del cuerpo del hidrociclón desde la parte superior. Esto obliga la corriente a iniciar su movimiento vorticoso hacia abajo, hacia el extremo pequeño del cuerpo del hidrociclón (“vértice” o “el flujo que sale por abajo”). Las partículas más grandes y/o más pesadas son

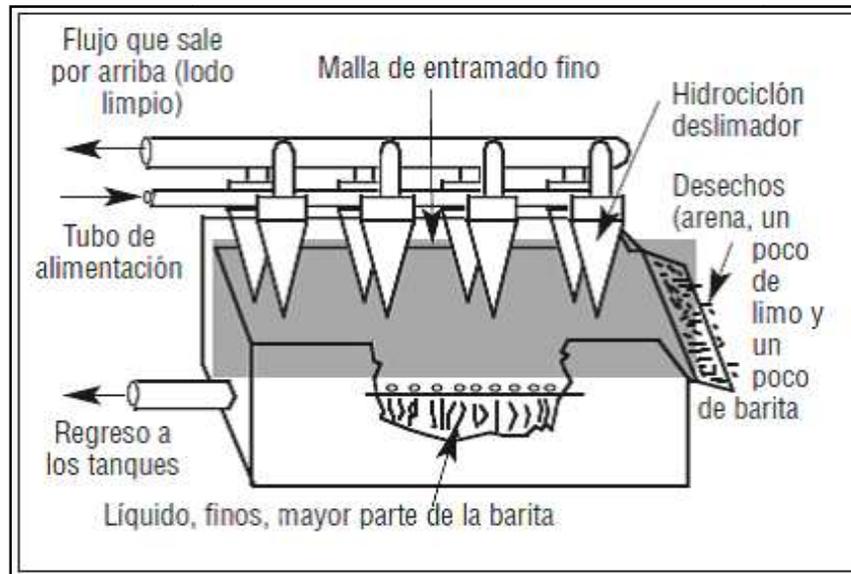
expulsadas hacia afuera, hacia la pared del hidrociclón, mientras que el fluido y las partículas más finas y más ligeras (las cuales son expulsadas más lentamente hacia afuera) se mueven hacia el centro, dentro del líquido en movimiento.

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 del vértice. Las partículas más grandes y una pequeña cantidad de fluido pasarán fuera por el vértice. El resto del fluido y las partículas más pequeñas invertirán su dirección y subirán dentro del hidrociclón de fluido, saliendo a través del buscador de vértice (el flujo que sale por arriba).

#### **2.8.1.5 Limpiadores de lodo (mudcleaner)**

Un limpiador de lodo es básicamente un conjunto de 2 desarenadores de 12 pulgadas y 12 desarcilladores de 4 pulgadas montado sobre una zaranda de alta energía con malla de entramado muy fino (ver la Figura N° 17). Un limpiador de lodo separa los sólidos perforados de tamaño de arena del lodo, pero retiene la barita. Primero, el limpiador de lodo procesa el lodo a través del desarcillador y luego separa la descarga a través de una zaranda de malla fina. El lodo y los sólidos que pasan a través de la malla (tamaño de corte variable según el entramado de la malla) son guardados y los sólidos más grandes retenidos por la malla son desechados.

Figura N° 17. Esquema de principio de limpiador de lodo



Fuente: Drilling Fluids Engineering Manual, MI SWACO

Elaborado por: David Santiago Rodríguez Valverde

De acuerdo con las especificaciones de 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 pasará a través de la malla para ser devuelta al sistema. En realidad, un limpiador de lodo desarena un lodo densificado y sirve de respaldo para las zarandas. Las mallas de los limpiadores de lodo pueden variar en tamaño de malla 120 a 325. Para que un limpiador de lodo constituya un dispositivo eficaz de control de sólidos, el tamaño de la malla debe ser más fino que el tamaño de las mallas de las zarandas.

Aunque la remoción de sólidos perforados y la recuperación de la barita constituyan los usos más comunes del limpiador de lodo, la recuperación de las fases líquidas costosas

(sintéticos, aceites, sal saturada, KCl, etc.) junto con la barita, reducirá los costos del lodo.

Además, el material desechado por la malla vibratoria es considerablemente más seco, por lo tanto, en muchos casos, el volumen reducido y la sequedad del material desechado reducirán los costos de eliminación. A menos que el limpiador de lodo esté descargando una cantidad importante de sólidos, la bomba centrífuga que alimenta al desarrollador causará la degradación perjudicial del tamaño de las partículas. Si las mallas de las zarandas de entramado fino de malla 200 o menos están funcionando correctamente y ningún lodo está contorneando las zarandas, es posible que el uso de un limpiador de lodo no aporte ninguna ventaja adicional.

Figura N° 18. Mud-Conditioner (Conjunto hidrociclones, desander, desilter y zaranda).



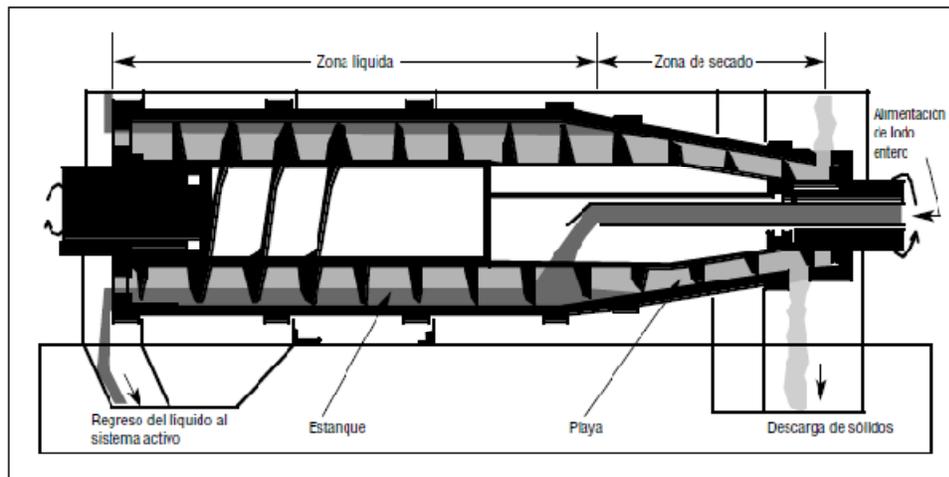
Fuente: BRANDT, The Handbook on Solids Control and Waste Management.

Elaborado por: David Santiago Rodríguez Valverde

### 2.8.1.6 Centrifugas

La remoción de sólidos a través de dispositivos de fuerza centrífuga depende de la separación de las partículas por su masa. El separador centrífugo somete mecánicamente el fluido a crecientes “fuerzas gravitacionales (G)”, aumentando la tasa de asentamiento de las partículas. Este método separa los sólidos del fluido en fracciones pesadas-gruesas y finas-livianas. Luego se selecciona la fracción deseada y se regresa al sistema. Esta técnica funciona correctamente con fluidos de baja densidad/pocos sólidos y de alta densidad y representa la base de la mayoría de los programas de control de sólidos. Debe recordarse que, con cualquier dispositivo de separación centrífuga, el punto D50, es decir, el punto al cual un sólido de tamaño determinado tiene 50/50 de probabilidades de ser removido por el flujo interior o en sobreflujo, se ve afectado por el contenido total de sólidos, el peso y la viscosidad del fluido.

Figura N° 19. Perfil transversal de una centrifuga



Fuente: Drilling Fluids Engineering Manual, MI SWACO

Elaborado por: David Santiago Rodríguez Valverde

El perfil transversal de la centrífuga mostrada en la Figura N° 19, se compone de un tazón cónico de acero horizontal que gira a una gran velocidad, con un tornillo transportador helicoidal en su interior. Este tornillo transportador gira en la misma dirección que el tazón exterior, pero a una velocidad ligeramente más lenta. La alta velocidad rotacional fuerza los sólidos contra la pared interior del tazón y el tornillo transportador los empuja hacia el extremo, donde son descargados. El lodo entero es bombeado dentro del hueco del tornillo transportador, donde es expulsado hacia afuera, formando un anillo de lodo llamado “estanque”. El nivel de este estanque es determinado por la altura de los orificios de descarga de líquido en el gran extremo embridado del tazón. Luego, el fluido fluye hacia los orificios, a través de dos canales formados por las aletas del tornillo transportador, ya que los sólidos se acumulan contra la pared interior del tazón. A medida que estas partículas se acumulan contra la pared, las aletas del tornillo transportador las empujan hacia el pequeño extremo del tazón. Las partículas salen del estanque pasando a través del área cónica seca (la playa), donde son separadas de todo el líquido libre y transportadas hacia los orificios de descarga ubicados en el pequeño extremo de la centrífuga.

Las centrífugas son capaces de realizar un punto de corte agudo. El punto de corte ideal es el tamaño de partícula al cual todas las partículas más grandes son separadas y todas las partículas más finas son retenidas.

Aplicaciones de la centrífuga:

En los fluidos de perforación densificados, se suele usar una centrífuga para la recuperación de barita. La centrífuga está configurada para separar principalmente la

barita, devolviéndola al sistema, mientras desecha la fase líquida que contiene los sólidos finos y coloidales perjudiciales. El volumen de líquido desechado es reemplazado por una dilución líquida o un nuevo volumen.

Debido a la baja capacidad de la mayoría de las centrifugas, sólo se procesa una pequeña porción del volumen en circulación; por lo tanto, la dilución y los tratamientos pueden ser ajustados para mantener las concentraciones químicas y propiedades adecuadas.

En los fluidos de perforación no densificados, la centrifuga es usada normalmente para la recuperación del líquido. La centrifuga está configurada para separar y desechar los sólidos de tamaño de limo y devolver la fase líquida al sistema. Los sólidos descargados por la centrifuga se componen básicamente de sólidos secos con una pequeña cantidad de agua libre, a diferencia de la descarga húmeda de los hidrociclones. La fase líquida limpia aún contiene sólidos ultrafinos y coloidales, pero muchas situaciones se benefician de la remoción adicional de sólidos.

Las aplicaciones para los lodos no densificados incluyen:

Fluidos que contienen una fase líquida costosa (base aceite, sintético, sal saturada, etc.) y áreas donde la eliminación de los desechos de perforación es costosa, tal como los sitios de perforación “cero descarga”, donde los desechos deben ser recogidos y eliminados en otro lugar.

Otra aplicación de una centrífuga es el procesamiento del flujo que sale por abajo de las unidades de hidrociclones como los desarcilladores o los eyectores de arcilla. Los hidrociclones están diseñados para procesar todo el flujo de un sistema de lodo, mientras que una centrífuga sólo puede manejar un flujo parcial. Al procesar el flujo que sale por abajo de los hidrociclones, la centrífuga está limpiando un mayor volumen del sistema que el que podría procesar directamente. En esta aplicación, la centrífuga también seca la descarga normalmente húmeda de los hidrociclones, descargando básicamente sólidos secos mientras que retiene el líquido. Esto es beneficioso cuando la fase líquida del lodo es muy costosa o cuando se debe minimizar la cantidad de desechos descargados.

Se incorporan centrífugas dobles en los sistemas de circuito cerrado. La primera centrífuga se opera como una unidad de recuperación de barita; la segunda, operada a una fuerza G (RPM) más alta, procesa el efluente de la centrífuga de recuperación de barita, devolviendo el líquido al sistema de lodo y desechando los sólidos. Las centrífugas dobles se usan comúnmente con los sistemas de lodo base aceite.

Cuando se usan con lodos base agua, a veces se añade un floculante al efluente de la primera centrífuga para mejorar la separación de sólidos en la segunda centrífuga.

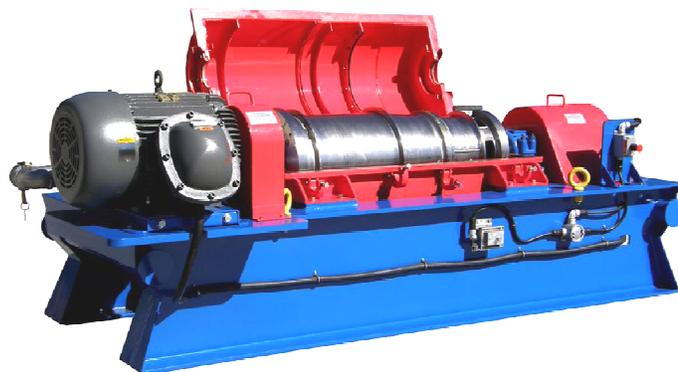
Las centrífugas también son usadas para la deshidratación de los lodos “DEWATERING”, según la cual se realiza el tratamiento del lodo entero para formar sólidos secos que serán desechados y agua clara que será reciclada. Para esta aplicación, se reduce el contenido de sólidos del lodo a un nivel muy bajo. Luego, productos químicos son añadidos para fomentar la coagulación y floculación de las partículas.

Después de haber sido tratado correctamente, el fluido puede ser procesado a través de una centrífuga, lo cual dará lugar a la recuperación de sólidos principalmente secos y agua. Normalmente, las aplicaciones de deshidratación requieren bombas medidoras y equipos de procesamiento especiales, además de un personal experimentado.

La reducción de los costos del lodo, sin sacrificar el control de las propiedades esenciales del lodo, constituye el propósito principal y la justificación del uso de una centrífuga.

Aunque ayude a controlar los sólidos finos indeseables, la función principal de la centrífuga es minimizar la dilución y mantener propiedades aceptables en el sistema de lodo.

Figura N° 20. Centrífuga 1850.



Fuente: BRANDT, The Handbook on Solids Control and Waste Management.

Elaborado por: David Santiago Rodríguez Valverde

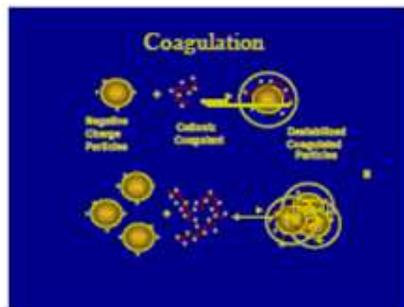
### 2.8.1.7 Dewatering

Dewatering o deshidratación de lodo es el proceso de remoción de la mayoría de los sólidos coloidales en exceso presentes en los lodos de perforación base agua mediante la adición de productos químicos para coagular y flocular los sólidos presentes.

Sin la aplicación de un proceso químico o deshidratación de lodo, la separación mecánica de líquidos y sólidos mediante la utilización de una centrífuga está limitada a 2 o 3 micrones. Por esto que la deshidratación de lodo vence esta limitación mediante la “Floculación” del lodo por el pre-tratamiento químico para incrementar “el tamaño de partícula efectivo” de los sólidos suspendidos.

La Coagulación es la adición de productos químicos al agua, los cuales causan que las partículas coloidales se agrupen en otras más grandes cuando entren en contacto. Esta mezcla es utilizada durante la coagulación para proveer una rápida e uniforme dispersión de los químicos y también incrementar el acople entre partícula y partícula. Normalmente, el proceso completo ocurre en menos de un segundo.

Figura N° 21. Proceso de Coagulación



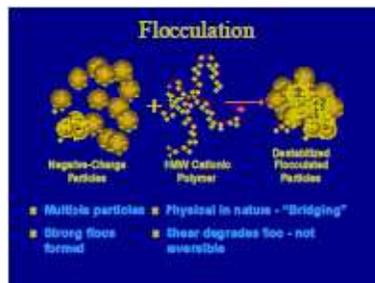
Fuente: Drilling Fluids Engineering Manual, MI SWACO

Elaborado por: David Santiago Rodríguez Valverde

La Floculación generalmente es seguida por la coagulación y puede describirse como un puente físico-químico o aglomeración de las partículas coaguladas. El proceso de floculación involucra una mezcla de partículas, hasta que los flóculos son formados.

La separación de los líquidos y sólidos del sistema de lodo ocurre fácilmente mediante la eliminación de grandes sólidos floculados en forma de lodo húmedo. Los sólidos provenientes de la deshidratación de lodo es descargado dentro de los contenedores y el agua recuperada es retornada para almacenar o en forma directa para el sistema activo de lodo. El agua obtenida de esta deshidratación puede ser reciclada en forma de dilución en el proceso o retornada al sistema activo de lodo o transferida a los tanques de agua de perforación para su uso como dilución.

Figura N° 22. Proceso de Floculación.



Fuente: Drilling Fluids Engineering Manual, MI SWACO

Elaborado por: David Santiago Rodríguez Valverde

El objetivo primordial del sistema de deshidratación de lodo, es procesar los desechos de perforación para:

- Reducción del volumen de los desechos líquidos generados.
- Re-utilización.
- Disposición.
- Descarga de manera ambientalmente segura y costo efectivo.

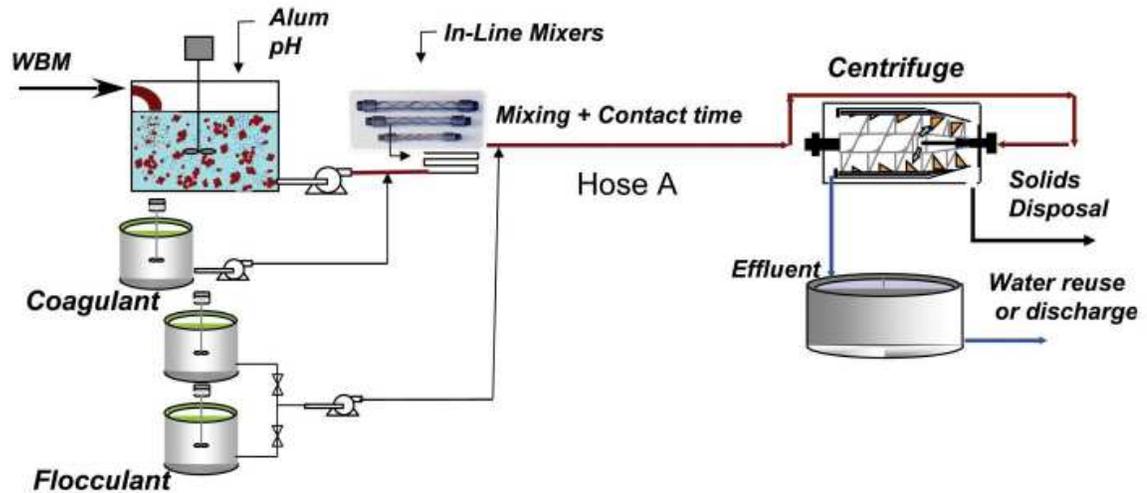
La utilización efectiva del sistema de deshidratación puede reducir los costos del fluido en más del 40% de su costo original, evitando dilución, pérdidas de lodos, optimización de la reología, etc.

El sistema de deshidratación de lodo es uno de los principales factores a ser utilizado en los llamados “Sistema Cerrados” utilizado en el concepto de “Locación Seca”. El sistema de deshidratación es utilizado para procesar los desechos líquidos del sistema de lodo y del sistema de almacenamiento. El efluente o fase líquida puede ser:

- Retornado al sistema activo de lodo.
- Retornado a los tanques de agua de perforación para ser usado como dilución.
- Enviado a tratamiento de aguas para ajustar todos los parámetros y poder ser vertidos en forma segura.

La deshidratación de lodo reduce o minimiza las necesidades de fosas de reserva utilizadas anteriormente para el almacenamiento de lodo descartado del sistema activo de lodo. En ecosistemas sensibles donde el tamaño de la localización es limitado o los costos de construcción son elevados, el proceso de deshidratación de lodo, reduce los requerimientos de futuras localizaciones.

Figura N° 23. Proceso de dewatering y clarificación de agua



Fuente: BRANDT, The Handbook on Solids Control and Waste Management

Elaborado por: David Santiago Rodríguez Valverde

### 2.8.1.8 Tratamiento de efluentes

Los procesos de perforación de pozos deberán minimizar el consumo de agua para obtener bajos costos de tratamiento de descarga de efluentes.

Los efluentes del proceso de dewatering son transferidos a un tanque de tratamiento, donde recibe un tratamiento primario.

- El tratamiento primario consiste en agregar aditivos químicos como floculantes y coagulantes, que cambian las propiedades del agua, para que esta pueda ser inyectada en los pozos inyectoros o pueda ser reutilizado en la mezcla del fluido del sistema activo.

Los efluentes de perforación obtenidos en el proceso de las bombas centrífugas se deben monitorear mediante un análisis in situ ajustándose a las normas del reglamento ambiental vigente, que será detallado al final de este capítulo.

Disposición final de los sólidos y descargas líquidas.

Realizado el proceso del equipo de control de sólidos, según el tipo de contratación, los efluentes sólidos son entregados a las compañías contratistas y descargados a su vez en fosas mediante la técnica de celdas de confinamiento para un futuro tratamiento de biorremediación; y los efluentes líquidos son evacuados mediante el uso de Vacuum después de haber sido tratadas.

### **2.8.2 Configuraciones de los equipos de control de sólidos**

La instalación correcta del equipo es esencial para lograr la capacidad máxima de separación de los equipos de remoción 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 obturar o 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 compartimiento 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.

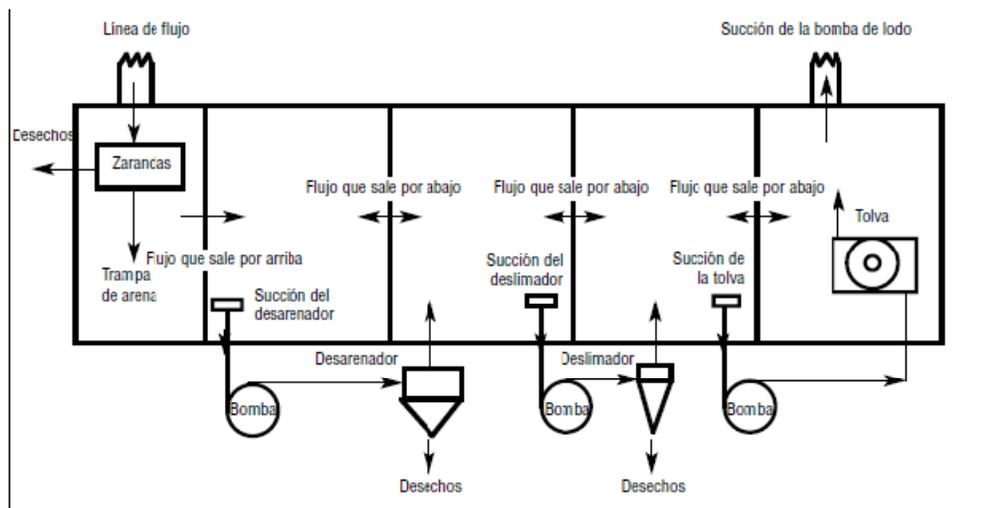
Otras pautas también pueden ayudar a mejorar la eficiencia del control de sólidos.

Algunas son:

1. Nunca usar la misma bomba de alimentación para diferentes tipos de equipos de control de sólidos (desarenador, desarcillador, 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 desarcilladores de manera que se cree un “contraflujo” desde el compartimiento del tanque corriente abajo hacia el compartimiento 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.

Las Figuras 24 a 28 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.

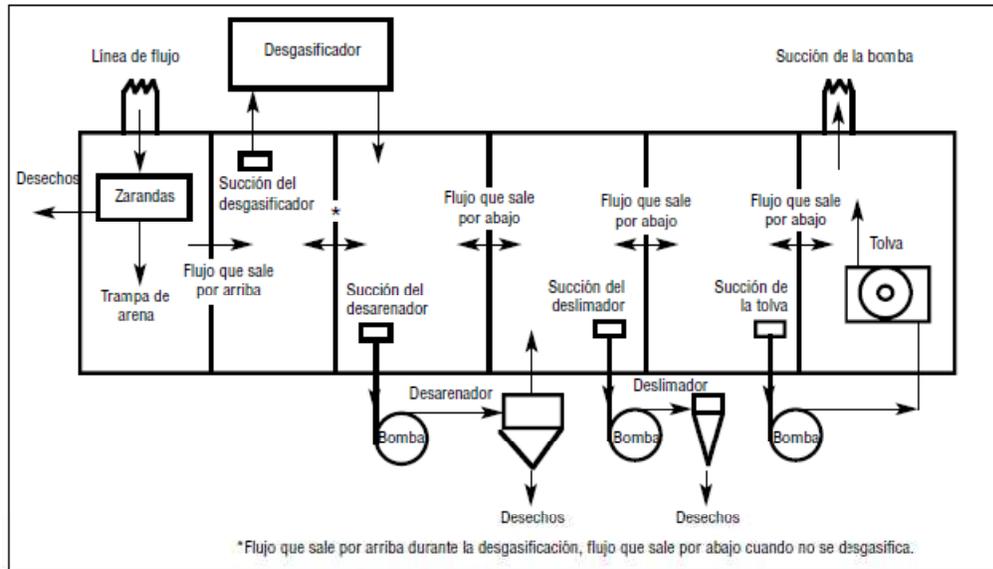
Figura N° 24. Sistema básico para lodo no densificado



Fuente: Drilling Fluids Engineering Manual, MI SWACO.

Elaborado por: David Santiago Rodríguez Valverde

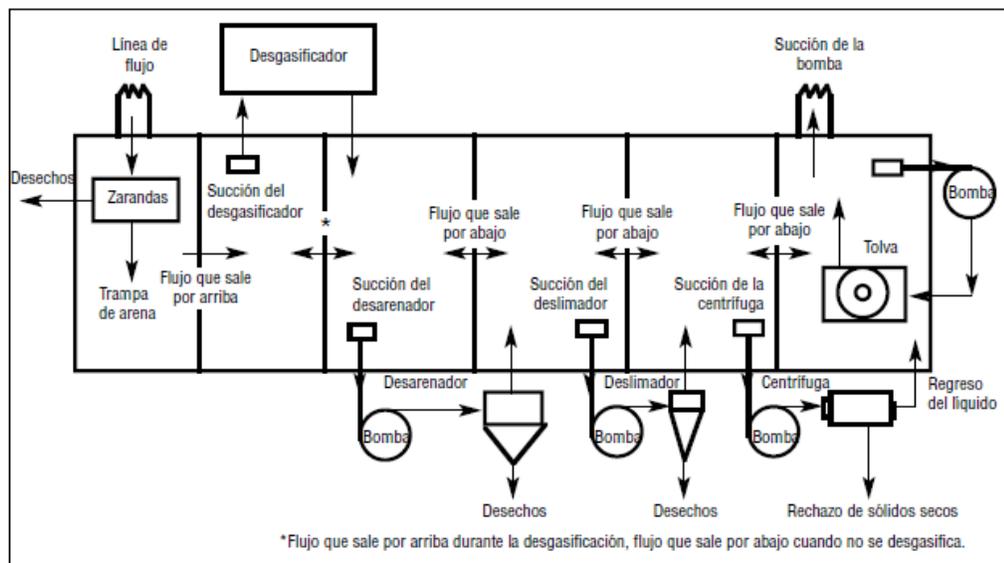
Figura N° 25. Lodo no densificado con desgasificador



Fuente: Drilling Fluids Engineering Manual, MI SWACO

Elaborado por: David Santiago Rodríguez Valverde

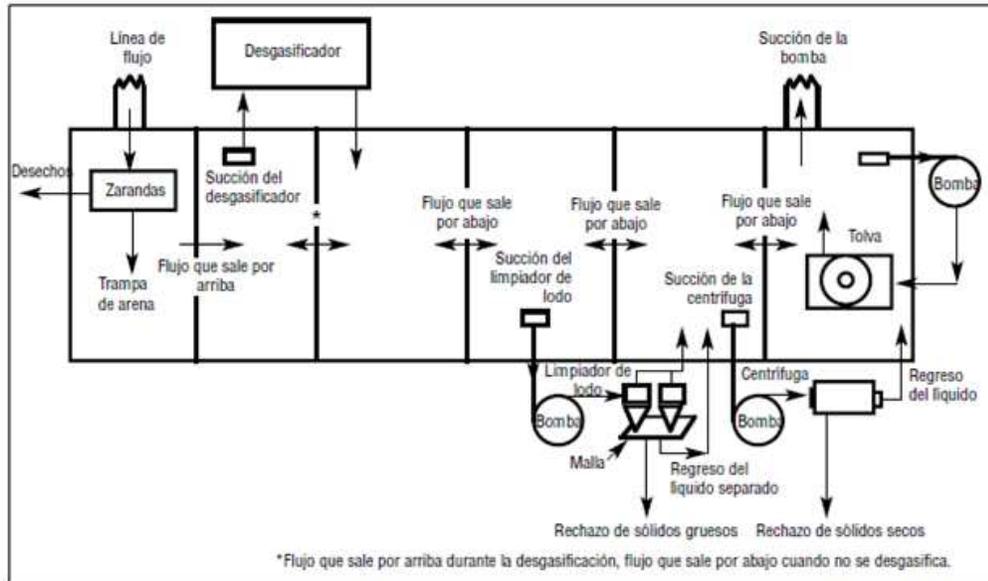
Figura N° 26. Lodo no densificado con centrifuga



Fuente: Drilling Fluids Engineering Manual, MI SWACO

Elaborado por: David Santiago Rodríguez Valverde

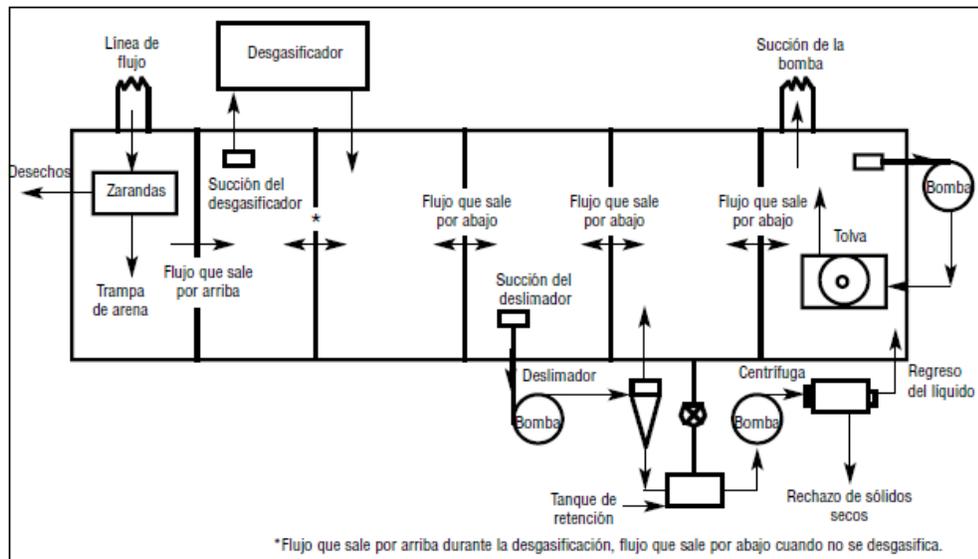
Figura N° 27. Lodo densificado con limpiador de lodo y centrifuga



Fuente: Drilling Fluids Engineering Manual, MI SWACO

Elaborado por: David Santiago Rodríguez Valverde

Figura N° 28. Lodo densificado con centrifugación de flujo que sale por debajo de los hidrociclones



Fuente: Drilling Fluids Engineering Manual, MI SWACO

Elaborado por: David Santiago Rodríguez Valverde

## **2.9 TRATAMIENTO DEL LODO DE PERFORACIÓN**

En muchas operaciones de perforación es necesario cambiar la química de un lodo de un tipo a otro. A este cambio se le denomina conversión del lodo. Las razones para llevar a cabo una conversión pueden ser:

- 1) El mantener un pozo estable.
- 2) El proveer un lodo que tolere altos pesos.
- 3) El perforar las formaciones de sal.
- 4) Reducir taponamiento de zonas productoras.

### **2.9.1 Conversión del lodo**

Los agentes químicos añadidos al lodo producen un aumento en la viscosidad seguido por un decrecimiento de la misma. El término conversión se refiere a esta secuencia de eventos que sufre el lodo de diluido a espeso y nuevamente a diluido. Aun cuando los lodos lignosulfonatos no experimentan esta secuencia, la conversión de un lodo lignosulfonato todavía se refiere como a una conversión. Los lodos de cal, los de yeso, los de cloruro de calcio, los de agua salada saturados y los de cloruro de potasio sufren una conversión.

“En la conversión de lodos de agua dulce, la viscosidad aumenta a medida que se agrega cal, yeso y otros productos químicos; pero cuando se alcanza un cierto punto, la viscosidad decrece a medida que se agregan agentes químicos adicionales”.<sup>11</sup>

---

<sup>11</sup> BAKER HUGHES, Manual ingeniería.

### **2.9.2 Aumento del peso del lodo**

El aumentar el peso del lodo es un procedimiento bastante sencillo. Lo importante es añadir materiales densificantes, tales como arcilla y barita, a un régimen que mantenga el peso del lodo constante en el tanque de succión durante la circulación. La medición cuidadosa del peso en el tanque de succión indicara si el material densificante está agregándose en forma muy lenta, muy rápida o a un régimen adecuado.

El volumen de lodo en el tanque se determina mediante un indicador de nivel del tanque graduado en barriles, bbl, (metros cúbicos, m<sup>3</sup>); también se calcula efectuando el producto del largo por la anchura por la altura del tanque en las unidades que se desee tener el volumen.

El cálculo de cuanto material densificante se necesita para aumentar el peso del lodo de un sistema de circulación y de cuán rápido deben añadirse los sacos de material solo puede hacerse en forma precisa mediante los ingenieros de lodos.

Debe tenerse presente que en el sistema métrico (SI) el término densidad se emplea en vez de peso.

- a) Los cálculos básicos, en medidas inglesas, para determinar la cantidad de material densificante necesaria son los siguientes:

1. Aumento del peso y del volumen con las arcillas.

Ecuación N° 13. Aumento de peso por arcillas (lb/bbl)

$$\text{Lb de arcilla añadida por bbl de lodo} = \frac{20.8(W_2 - W_1)}{20.8 - W_2} \times 42$$

Donde;

W1 = Peso inicial del lodo en lb/gal.

W2 = Peso final del lodo en lb/gal.

20.8 = Peso de la arcilla en lb/gal.

42 = Galones por barril.

Al añadir arcilla al sistema de lodo, el volumen del lodo aumentará.

Ecuación N° 14. Aumento de volumen por arcillas (bbl).

$$\text{Aumento de volumen, bbl} = \frac{\text{lb de arcilla añadida por bbl}}{20.8 \times 42 \text{ lb por bbl}}$$

2. Aumento del peso y del volumen con la barita.

Ecuación N° 15. Aumento de peso por barita (lb/bbl).

$$\text{Lb de barita añadida por bbl de lodo} = \frac{35.46(W_2 - W_1)}{35.46 - W_2} \times 42$$

Donde;

W1 = Peso inicial del lodo en lb/gal.

W2 = Peso final del lodo en lb/gal.

35.46 = Peso de la barita en lb/gal.

42 = Galones por barril.

Al añadir barita, el volumen del lodo también aumentará.

Ecuación N° 16. Aumento de volumen por barita (bbl).

$$\text{Aumento de volumen, bbl} = \frac{\text{lb de barita añadida por bbl}}{35.46 \times 42 \text{ lb por bbl}}$$

b) Los cálculos básicos, en medidas métricas, para determinar la cantidad de material densificante necesaria son los siguientes:

1. Aumento del peso y del volumen con las arcillas.

Ecuación N° 17. Aumento de peso por arcillas (Kg/m<sup>3</sup>)

$$\text{Kg de arcilla por m}^3 \text{ de lodo} = \frac{2500(D_2 - D_1)}{2500 - D_2}$$

Donde;

D1 = Densidad inicial del lodo en Kg m<sup>3</sup>.

D2 = Densidad final del lodo en Kg/m<sup>3</sup>.

2500 = Densidad de arcilla en Kg/m<sup>3</sup>.

Al añadir arcilla al sistema de lodo, el volumen de lodo aumentará.

Ecuación N° 18. Aumento de volumen por arcillas (m<sup>3</sup>)

$$\text{Aumento de volumen, m}^3 = \frac{\text{Kg de arcilla añadido}}{2500 \text{ Kg/m}^3}$$

## 2. Aumento de la densidad y del volumen con la barita

Ecuación N° 19. Aumento de peso por barita (Kg/m<sup>3</sup>)

$$\text{Kg de barita por m}^3 \text{ de lodo} = \frac{4250(D_2 - D_1)}{4250 - D_2}$$

Donde;

D1 = Densidad inicial del lodo en Kg m<sup>3</sup>.

D2 = Densidad final del lodo en Kg/m<sup>3</sup>.

4250 = Densidad de la barita en Kg/m<sup>3</sup>.

Al añadir barita, el volumen del lodo también aumentará.

Ecuación N° 20. Aumento de volumen por barita (m<sup>3</sup>)

$$\text{Aumento de volumen, m}^3 = \frac{\text{Kg de barita añadido}}{4250 \text{ Kg/m}^3}$$

### 2.9.3 Reducción del peso del lodo

En ciertos casos es necesario reducir el peso del lodo. Por ejemplo, puede necesitarse un lodo más pesado cuando se está perforando una formación de alta presión. Pero una vez que se coloca la tubería de revestimiento, esta es capaz de contener la presión de la formación. Si la presión de la formación abajo del revestimiento es normal, entonces se puede reducir el peso del lodo.

En los lodos a base de agua, la reducción de peso generalmente se hace agregando agua.

- a) Se puede emplear la siguiente fórmula para obtener aproximadamente el volumen de agua necesario para reducir el peso:

Ecuación N° 21. Volumen de agua requerida en barriles.

$$\text{Bbl de agua requerido} = \frac{V(W_1 - W_2)}{W_2 - 8.34}$$

Donde;

V = Volumen de lodo original en bbl.

W<sub>1</sub> = peso inicial del lodo en lb/gal.

W<sub>2</sub> = peso del lodo deseado en lb/gal.

- b) Se puede emplear la siguiente fórmula, en medidas métricas, para obtener el volumen aproximado de agua necesario para obtener la densidad:

Ecuación N° 22. Volumen de agua requerida en m<sup>3</sup>

$$\text{m}^3 \text{ de agua requerida} = \frac{V(D_1 - D_2)}{D_2 - 1000}$$

Donde;

V = volumen original del lodo en m<sup>3</sup>.

D<sub>1</sub> = densidad original del lodo en kg/m<sup>3</sup>.

D<sub>2</sub> = densidad deseada del lodo en kg/m<sup>3</sup>.

Ecuaciones: desde la 13 a la 22

Fuentes: Drilling Fluids Engineering Manual, MI SWACO

Elaborado por: David Rodríguez

Estas fórmulas no toman en consideración el efecto de los sólidos que se asientan debido a la disminución de la viscosidad. Cuando se van a añadir grandes cantidades de

agua, deben añadirse materiales destinados al aumento de la viscosidad para impedir el asentamiento del material densificante del lodo. Para este propósito puede usarse varios materiales tales como el almidón, poliacrilatos y celulosa carboximetil.

También se emplean materiales para reducir la pérdida de fluido, ellos son añadidos a través de una tolva o un embudo a un régimen bajo para evitar el taponamiento de la tolva.

#### **2.9.4 Adelgazamiento**

El adelgazamiento o dilución, del lodo significa la disminución de la viscosidad. En el caso de los lodos a base de agua, el adelgazamiento se puede hacer añadiendo agua o reactivos químicos. El agua disminuye el peso del lodo, mientras que los reactivos químicos no.

Por lo tanto, cuando se trate de adelgazar un lodo debe tomarse una decisión cuidadosa acerca de la adición del agua, de las sustancias químicas o ambos para mantener los costos del tratamiento al mínimo.

Cuando el porcentaje de los sólidos se encuentra dentro de un valor correcto, se añaden los reactivos químicos, si el porcentaje de los sólidos es alto, normalmente se añade agua.

“Los reactivos químicos más ampliamente usados para adelgazar lodos a base de agua son los lignosulfonatos, ellos pueden usarse en todos los lodos a base de agua”<sup>12</sup>.

Las lignitas reciben una aplicación menos amplia mientras que los fosfatos y los tanatos casi no se usan en la actualidad. Pero cuando solo se añaden pequeñas cantidades de diluyentes, estas se usan directamente del depósito de reactivos químicos.

## **2.10 ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL**

Las actividades Hidrocarburíferas Ecuatorianas, en el contexto ambiental están sujetas a un conjunto de normas y reglamentos que garantizan el desarrollo sustentable al derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, estas normativas se las encuentra en el decreto oficial 1215 del Reglamento Ambiental de Operaciones Hidrocarburíferas del Ecuador (RAOHE).

### **2.10.1 Consideraciones generales**

Respecto del tratamiento y disposición final de fluidos y ripios de perforación, todo sitio de perforación en tierra o costa afuera dispondrá de un sistema de tratamiento y disposición de los fluidos y sólidos que se produzcan durante la perforación.

Durante la perforación y concluida ésta, los fluidos líquidos tratados a medida de lo posible deberán reciclarse y/o podrán disponerse conforme con lo dispuesto en el artículo 29 del Reglamento Ambiental de Operaciones Hidrocarburíferas del Ecuador (RAOHE). El monitoreo físico-químico de las descargas al ambiente se realizará

---

<sup>12</sup>MI SWACO, Drilling Fluids Engineering Manual.

diariamente y será documentado y reportado al ministerio del ambiental en informes mensuales.

Durante y después de la perforación, los desechos sólidos, tanto lodos de decantación así como ripios de perforación tratados, podrán disponerse una vez que cumplan los parámetros y límites permisibles en las tablas descritas a continuación.

Límites permisibles para el monitoreo ambiental permanente de aguas y descargas líquidas en la exploración, producción, industrialización, transporte, almacenamiento y comercialización de hidrocarburos y sus derivados, inclusive lavado y mantenimiento de tanques y vehículos.

Las tablas:

4.a) Expresa los límites permisibles en el punto de descarga de efluentes (descargas líquidas). (ver Tabla N° 4.)

4.b) Expresa los límites permisibles en el punto de control en el cuerpo receptor (inmisión). (ver Tabla N° 5.)

Tienen que cumplirse los límites establecidos en los dos puntos; quiere decir que si el efluente cumple con los límites establecidos pero en el punto de control se sobrepasan los límites, tienen que tomarse las respectivas medidas para disminuir los valores en el efluente hasta cumplir con la calidad exigida en el punto de control (inmisión).

Cualquier efluente debe ser oxigenado (aireación) previo a su descarga.

La periodicidad de los muestreos y análisis deberá cumplir con lo siguiente:

- Diario en refinерías y para descargas de perforación durante todo el periodo de perforación.
- Mí­nimo una vez al mes en todas las demás instalaciones hidrocarburíferas que generan descargas líquidas y en todas las fases de operación, excepto aquellos referidos en el siguiente punto.
- Semestralmente para las fases, instalaciones y actividades de almacenamiento, transporte, comercialización y venta de hidrocarburos que generen descargas líquidas.

Tabla N° 4. Monitoreo Ambiental Permanente de aguas y Descargas Líquidas a).

<b>a) EFLUENTE (punto de descarga)</b>					
Parámetro	Expresado en	Unidad	Valor límite permisible <sup>1</sup>	Promedio anual <sup>2)</sup>	Destino de descarga
Potencial hidrógeno	pH	---	5<pH<9	5.0<pH<9.0	Todos
Conductividad eléctrica	CE	μS/cm	<2500	<2000	Continente
Hidrocarburos totales	TPH	mg/l	<20	<15	Continente
Hidrocarburos totales	TPH	mg/l	<30	<20	Mar abierto
Demanda química de oxígeno	DQO	mg/l	<120	<80	Continente
Demanda química de oxígeno	DQO	mg/l	<350	<300	Mar abierto
Sólidos totales	ST	mg/l	<1700	<1500	Todos
Bario	Ba	mg/l	<5	<3	Todos
Cromo (total)	Cr	mg/l	<0.5	<0.4	Todos
Plomo	Pb	mg/l	<0.5	<0.4	Todos
Vanadio	V	mg/l	<1	<0.8	Todos
Nitrógeno global (incluye N orgánico, amoniacal y óxidos) <sup>3)</sup>	NH <sub>4</sub> -N	mg/l	<20	<15	Todos
Fenoles <sup>3)</sup>		mg/l	<0.15	<0.10	Todos

Fuente: RAOHE, Decreto No. 1215, Registro Oficial No. 265 de 13 de Febrero de 2001, Ecuador.

Elaborado por: David Santiago Rodríguez Valverde

Tabla N° 5. Monitoreo Ambiental Permanente de aguas Y Descargas Líquidas b).

<b>b) INMISIÓN</b> (punto de control en el cuerpo receptor)					
Parámetro	Expresado en	Unidad	Valor límite permisible <sup>1)</sup>	Promedio anual <sup>2)</sup>	Aplicación
Temperatura <sup>4)</sup>		°C	+3°C		General
Potencial hidrógeno <sup>5)</sup>	pH	---	6.0<pH<8.0	6.0<pH<8.0	General
Conductividad eléctrica <sup>6)</sup>	CE	μS/cm	<170	<120	Continente
Hidrocarburos totales	TPH	mg/l	<0.5	<0.3	General
Demanda química de oxígeno <sup>7)</sup>	DQO	mg/l	<30	<20	General
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)	C	mg/l	<0.0003	<0.0002	General

Fuente: RAOHE, Decreto No. 1215, Registro Oficial No. 265 de 13 de Febrero de 2001, Ecuador.

Elaborado por: David Santiago Rodríguez Valverde

Límites permisibles de lixiviados para la disposición final de lodos y rípios de perforación en superficie.

Los lodos y rípios de perforación, para su disposición final en superficie tienen que cumplir con los parámetros y límites permisibles indicados en la tabla N°4 y N°5 del RAHOE, dependiendo de si el sitio de disposición final cuenta con una impermeabilización de la base o no. El muestreo se realizará de tal manera que se obtengan muestras compuestas representativas en función del volumen total dispuesto en el respectivo sitio.

Los lodos de decantación procedentes del tratamiento de los fluidos de perforación se incluirán en el tratamiento y la disposición de los lodos y rípios de perforación. Además del análisis inicial para la disposición final, se requiere un seguimiento a través de muestreos y análisis periódicos:

1. A los siete días de la disposición de los lodos y ripios tratados.
2. A los tres meses de la disposición.
3. A los seis meses de la disposición.

Tabla N° 7A. Límites Permisibles de Lixiviados Para la Disposición Final de Lodos y Ripios de Perforación en Superficie a).

a) SIN impermeabilización de la base			
Parámetro	Expresado en	Unidad	Valor límite permisible
Potencial hidrógeno	pH	---	6<pH<9
Conductividad eléctrica	CE	μS/cm	4,000
Hidrocarburos totales	TPH	mg/l	<1
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)	C	mg/l	<0.003
Cadmio	Cd	mg/l	<0.05
Cromo total	Cr	mg/l	<1.0
Vanadio	V	mg/l	<0.2
Bario	Ba	mg/l	<5

Fuente: RAOHE, Decreto No. 1215, Registro Oficial No. 265 de 13 de Febrero de 2001, Ecuador.

Elaborado por: David Santiago Rodríguez Valverde

Tabla N° 7B. Límites Permisibles de Lixiviados Para la Disposición Final de Lodos y Ripios de Perforación en Superficie b).

b) CON impermeabilización de la base			
Parámetro	Expresado en	Unidad	Valor límite permisible
Potencial hidrógeno	pH	---	4<pH<12
Conductividad eléctrica	CE	μS/cm	8,000
Hidrocarburos totales	TPH	mg/l	<50
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)	C	mg/l	<0.005
Cadmio	Cd	mg/l	<0.5
Cromo total	Cr	mg/l	<10.0
Vanadio	V	mg/l	<2
Bario	Ba	mg/l	<10

Fuente: RAOHE, Decreto No. 1215, Registro Oficial No. 265 de 13 de Febrero de 2001, Ecuador.

Elaborado por: David Santiago Rodríguez Valverde

## **CAPÍTULO III**

## CAPÍTULO III

### 3. MANEJO Y CONTROL DE FLUIDOS

El desecho de fluidos y ripsos de la actividad de perforación y/o rehabilitación es uno de los problemas potenciales y preocupantes a los cuales se encuentra enfrentada la Industria Petrolera Nacional.

La creencia tradicional de que nuestro medio ambiente puede absorber estos desechos ha sido descartada totalmente. La preocupación sobre la preservación del medio ambiente dio como resultado la promulgación de la Ley Penal de Ambiente lo cual ha conllevado al estudio de tecnología disponible para encontrar o desarrollar un proceso el cual permita adecuar la actividad de perforación dentro del marco pautado por las regulaciones gubernamentales. Los métodos actualmente aplicados y utilizados por la industria del Petróleo son las siguientes:

1. Circuito cerrado de lodos.
2. Tecnología de tratamientos de desechos.

La necesidad de descartar los desechos generados durante la perforación de un pozo, de una manera aceptable desde el punto de vista de regulaciones ambientales, ha implementado el desarrollo de nuevas tecnologías que engloban aspectos tales como:

- El uso de productos no tóxicos en la constitución del lodo de perforación.
- Eliminación del uso de gasoil.
- Un mejor control de los desechos sólidos ó líquidos y el mejor manejo de los mismos originados en el proceso de perforación de pozos.

Estos desechos sólidos ó líquidos deben ser caracterizados en sus constituyentes físico-químicos con el propósito de determinar su condición de desechos tóxicos o peligrosos, establecer el tipo de tratamiento a aplicar y en consecuencia su disposición final.

El objetivo del presente estudio es determinar la concentración óptima, de poliacrilamida (polímero), a la cual se lleva a cabo el proceso de deshidratación del lodo y tratamiento de agua en parámetros técnico-económicos rentables; a continuación se detallan los procedimientos necesarios para realizar dicho estudio.

### **3.1 POLIACRILAMIDA**

Las poliacrilamidas son polímeros solubles en agua. Su solución acuosa no es corrosiva para acero y produce altas viscosidades a bajas concentraciones del producto, es sensible a la presencia de sales minerales y no soporta esfuerzos mecánicos.

Además de su aplicación en la industria petrolera, las poliacrilamidas tiene múltiples usos, tales como: floculante en el tratamiento de agua, hidroseparación en la industria minera y clarificación de jugo de caña. Igualmente es de mucha utilidad en la industria textil, industria del papel y otras como la farmacéutica, alimenticia y la agricultura.

Otra aplicación de las poliacrilamidas es la de floculantes y coagulante. Se dividen en tres tipos aniónicas, catiónicas y no iónicas.

- Las poliacrilamidas aniónicas se manufacturan a partir de monómero de acrilamida y un monómero aniónico (acrilato de sodio, acrilato de amonio) dentro de la industria petrolera es utilizada para deshidratación de lodos de perforación.

- Las poliacrilamidas catiónicas se producen por copolimerización de monómero de acrilamida y un monómero acrílico catiónico, su uso es para tratamiento de aguas industriales.
- Las poliacrilamidas no iónicas se producen partiendo de monómero de acrilamida, son ampliamente utilizadas, es muy útil en procedimientos de deshidratación de lodo, de recuperación mejorada en pozos de petróleo, entre otras.

Las poliacrilamidas se pueden obtener en forma sólida, líquida, siendo la forma sólida la más recomendable para su fabricación, debido a sus ventajas de facilidad de transporte, menor riesgo de contaminación del producto y mayor periodo de almacenamiento.

La Tabla N° 8. Muestra las características de cada tipo de poliacrilamida (PAM).

Tabla N° 8. Caracterización de tipos de PAM

Estándar	Peso molecular	Contenido sólido	Grado de hidrolización	Tiempo de disolución	Insoluble	monómeros residuales	
	Diez milésimos	%	%	h	%	%	
PAM no iónico No iónico	≥600	≥88	≤5	≤1	≤0.2	≤0.05	
PAM aniónico	Grado de hidrolización bajo	≥1200	≥88	12~18	≤1	≤0.2	≤0.05
	Alto grado de hidrolización medio	≥1600	≥88	22~28	≤2	≤0.2	≤0.05
	Alto grado de hidrolización	≥1600	≥88	≥30	≤2	≤0.2	≤0.05
Catiónico PAM	700-1000	≥88	10-65	≤2	≤0.2	≤0.025	

Fuente: Perfounsa, “Lodos de Perforación”.

Elaborado por: David Santiago Rodríguez Valverde

## **3.2 PROCEDIMIENTOS**

Los procedimientos a seguir son vasados en análisis sencillos de muestras de tanques que van a ser tratados y estos son los siguientes:

### **3.2.1 Prueba de jarras**

Es el ensayo más sencillo y de mayor uso para determinar la dosis ideal de coagulantes, floculantes y otros químicos, así como algunos parámetros de operación en el tratamiento de agua. Con la prueba de jarras se intenta simular el proceso de coagulación-floculación, tal como sucede en los tanques de tratamiento.

Debido a que es un ensayo que simula las condiciones del tratamiento, no es sorprendente que no exista un patrón estándar para su realización. Se recomienda usar la prueba de jarras cuando el contenido de sólidos suspendidos en el agua es menor a 5000 mg/L (PPM) partes por millón.

En su forma más simple la prueba consiste en colocar muestras de agua cruda, o lodo del tanque de lodo de la unidad de dewatering, en 4 o 6 vasos de precipitado “jarras” de un litro. En la Figura N° 29. Se ilustra el equipo necesario para realizar una prueba de jarras.

Para la agitación se usa una unidad de mezcla o “kit de jarras” que consiste en una serie de agitadores de paletas acopladas mecánicamente para operar a la misma velocidad. A las jarras se le agregan dosis variables de coagulante con agitación fuerte para que se disperse y luego se disminuye la velocidad para iniciar el proceso de floculación. Finalmente se detiene la agitación para permitir que los flóculos formados sedimenten.

Figura N° 29. Equipo o “kit de jarras” necesario para prueba de jarras.



Fuente: David Santiago Rodríguez Valverde

Elaborado por: David Santiago Rodríguez Valverde

### 3.2.2 Usos de la prueba de jarras

La prueba de jarras se realiza entre otros con los siguientes propósitos:

- Selección del tipo de o de los coagulantes más efectivos y/o eficientes.
- Evaluación de la dosis optima de coagulante.
- Determinación del pH óptimo de coagulación.
- Determinación del orden más efectivo de adición de los diferentes productos químicos.
- Evaluación del comportamiento de coagulantes y floculantes.
- Estimación de tiempos de agitación y sedimentación.
- Optimización de los sistemas de tratamiento existentes.
- Ajustar parámetros de calidad.
- Determinar el costo del tratamiento.

### 3.2.3 Preparación de soluciones para correr la prueba de jarras

La recomendación es preparar soluciones de coagulantes y floculantes en concentraciones que se ajusten a las características del lodo o agua a ser tratada.

Partes por Millón (ppm): es la unidad que se utiliza para determinar la concentración de una sustancia química en un volumen, cada millonésima parte de este volumen, correspondiente a la sustancia de nuestro interés, se considera una parte por millón de la sustancia.

Generalmente suele referirse a porcentajes en peso en el caso de sólidos y en volumen en el caso de gases. Se abrevia como ppm. También se puede definir como "la cantidad de materia contenida en una parte sobre un total de un millón de partes", la Tabla N° 9. muestra distintas medidas de concentración y partes por millón.

Tabla N° 9. Concentración y ppm

Porcentaje de Concentración	(mg/L)
0.1%	1000
1.0%	10000
10%	100000
100%	1000000

Fuente: Perfounsa, "Lodos de Perforación".

Elaborado por: David Santiago Rodríguez Valverde

### **3.2.4 Procedimiento de la prueba de jarras**

Equipo o “Kit” de jarras necesario para correr una prueba de jarras es el siguiente:

- Vasos de precipitado (jarras de 1000 ml).
- Pipetas graduadas o jeringas.
- Frascos para soluciones.
- Cronómetro (sugerido).

### **3.2.5 Muestreo**

La muestra que se tomó del tanque debió ser homogenizada al menos una hora antes, mediante la agitación de la misma y fue un volumen suficiente el cual permitió realizar por lo menos dos o tres series de ensayos. Esto es muy importante porque al comparar los resultados tendrá que hacerse sobre la misma calidad de agua cruda o de lodo. Lo ideal es no utilizar muestras con más de una hora de haber sido tomadas. Antes de correr las pruebas se recomienda agitar todo el contenido del recipiente de la muestra para homogenizar la misma.

Una vez terminada la agitación se dejan precipitar los sólidos de la muestra. La dosis óptima se determina en función de la turbiedad final del agua tratada.

En cada serie de la prueba de jarras se debe variar solo uno de los parámetros manteniendo a los otros constantes. Generalmente la concentración de uno de los químicos es la que varía.

### 3.2.6 Evaluación de resultados

Las principales determinaciones que se hacen para evaluar los resultados de la prueba de jarras son:

- Observación visual: Consiste en observar la forma como se desarrolla el floc en cada uno de los vasos, escogiendo aquel que produzca el floc más grande, de mayor velocidad de asentamiento y que deje ver el agua más cristalina entre los flóculos formados.

Una forma de clasificar las características del floc es mediante en índice de Willcomb, tal como se describe en la Tabla N° 10:

Tabla N° 10. Concentración sugerida para preparar soluciones.

Número del Índice	Descripción del Flóculo
0	Floc coloidal; sin ningún signo de floculación.
2	Floc visible; muy pequeño, casi imperceptible para un observador no entrenado.
4	Floc disperso; bien formado, pero de sedimentación muy lenta o nula.
6	Floc claro; de tamaño relativamente grande pero de sedimentación lenta.
8	Floc bueno; sedimenta fácil pero no completamente.
10	Floc excelente; sedimenta todo dejando el agua cristalina.

•

Fuente: David Santiago Rodríguez Valverde

Elaborado por: David Santiago Rodríguez Valverde

- Velocidad de sedimentación: Como la finalidad de tener una buena coagulación, floculaciones producir un floc de fácil o rápida sedimentación, al medir la velocidad de ésta última (sedimentación), se está evaluando la eficiencia de la dosificación de los coagulantes y floculantes. Mediante el uso de un cronómetro podemos encontrar cual es la de sedimentación más rápida dentro de las jarras que resulten con las aguas más transparentes.

### **3.2.7 Limitaciones de las pruebas de jarras**

Debido a que esta es una prueba o ensayo que se realiza sobre un pequeño volumen de muestra, el ensayo de jarras se constituye en una reproducción pobre del proceso de tratamiento de fluidos y efluentes líquidos. Algunos de los factores que generan diferencias en los resultados obtenidos en la prueba de jarras y los resultados obtenidos en el tratamiento a escala de los distintos tanques, ya sea en los de lodo o en los verticales de agua, son entre otros:

- Dispersión insuficiente de químicos: las dosificaciones y agitación del lodo o agua pueden ser controladas mejor en la prueba de jarras que en el tanque.
- Agitación: El grado de agitación que se tiene en los tanques y el que se maneja en las jarras no es el mismo, esto hace que el proceso de coagulación-floculación sean diferentes en los dos procesos.
- Diseño ineficiente de los sistemas de agitación: se refiere a grados de agitación muy intenso o muy suave, mala dispersión de químicos, fallas en los equipos, etc.

- La escala de jarras no guarda relación con la escala del flóculo, por cuanto este se produce a escala natural y en jarras son cientos de veces más pequeños que en los tanques.

Sin embargo, a pesar de las anteriores limitaciones, la prueba de jarras sigue siendo el mejor método con el que hasta ahora se dispone para controlar y hallar la dosis de químicos a adicionar. De todas formas si las pruebas de jarras se corren con creatividad y sentido común, sus limitaciones pueden minimizarse.

### **3.3 PROCESO DE TRATAMIENTO DE FLUIDOS Y EFLUENTES DE PERFORACIÓN**

En Sacha Central pozo en proceso se realiza el tratamiento de los lodos base agua y el tratamiento de las aguas provenientes de este proceso.

El lodo desechado, es tratado mediante el proceso de dewatering y el agua obtenida por este proceso es tratada mediante el tratamiento de clarificación por floculación, coagulación y desinfección.

Consideraciones para el tratamiento:

- Realizar el tratamiento de dewatering con productos compatibles con el lodo de perforación, en este caso se utiliza un polímero (poliacrilamida catiónica).
- Reciclar al máximo el agua industrial para la preparación de lodos, limpieza y refrigeración de equipos.
- Realizar pruebas de compatibilidad de agua con el lodo para asegurar las propiedades reológicas y la calidad del fluido de perforación.

- Disponer las aguas cumpliendo con todos los parámetros ambientales exigidos por el RAHOE.

### **3.3.1 Proceso de dewatering**

Este tratamiento se realiza solamente cuando el lodo base agua no se pueda continuar reciclando, el lodo desechado será tratado en la unidad de deshidratación (Unidad de Dewatering), esta deshidratación consiste básicamente en flocular todos los sólidos suspendidos en el lodo y decantarlos en su totalidad por medio de una centrífuga decantadora como se mencionó en el capítulo anterior Dewatering.

- Acorde con el objetivo principal de optimización del tratamiento de efluentes se tendrán en cuenta los siguientes aspectos:
- Realizar pruebas de jarra previas al dewatering para seleccionar la concentración óptima de polímero que se utilizara con el lodo.
- Reutilizar el agua del dewatering en la preparación del polímero y en las diluciones del lodo cuando se requiera (Dewatering al Sistema Activo).
- Evitar el exceso de polímero para evitar floculación en el lodo cuando se recicle el agua al sistema activo.

El sistema de Dewatering consta de un tanque provisto de tres compartimentos en el cual, el primer compartimento tendrá la función de almacenar lodo descartado, en el segundo se recibe el agua del dewatering (retorno de la centrífuga) y tendrá la función de trampa de sólidos para sedimentar los flóculos remanentes, el tercer compartimento

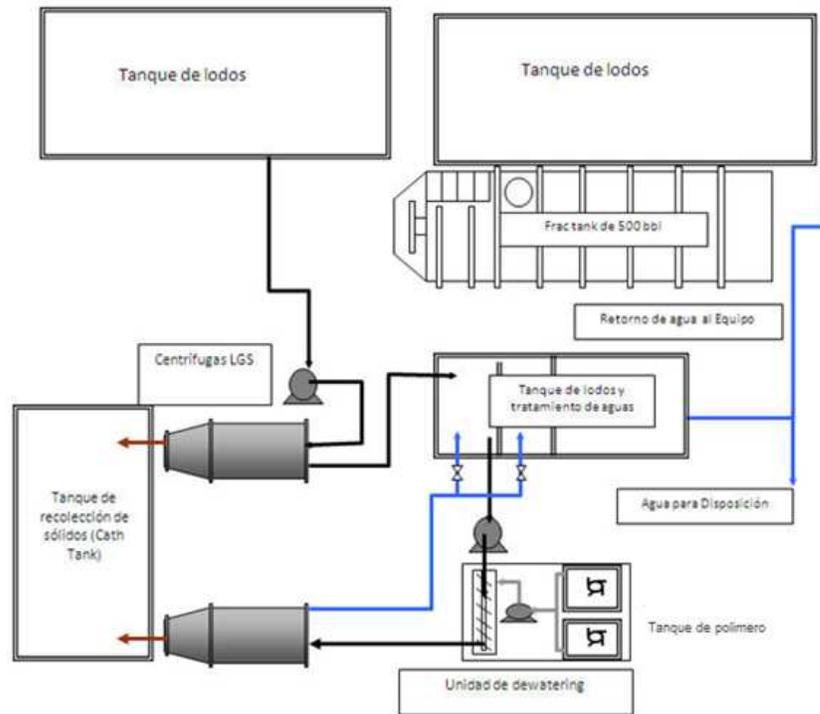
tendrá la función de tanque de tratamiento, este a su vez está dividido en 2 secciones en las cuales se prepara la solución de polímero.

Los flóculos depositados en el fondo del tanque serán evacuados periódicamente cada vez que se acumule un 20% de la capacidad del tanque, estos serán bombeados mediante bomba neumática al primer compartimento, para deshidratarlos por el sistema. Una vez que el agua de dewatering ya no sirva para re-uso, se transfiere hasta el frac tank (tanques verticales), en la cual se adiciona el tratamiento de clarificación y desinfección; y se mantiene oxigenada continuamente.

Se toma la muestra para realizar las pruebas de laboratorio. Si el agua cumple con las normas impuestas por el RAHOE (Reglamentación Ambiental de Operaciones Hidrocarburíferas del Ecuador), se procede a su disposición, si no, se continúa tratando hasta que se ajusten a las normas descritas en el capítulo anterior.

A continuación se muestra en la Figura N° 30 un arreglo convencional de la unidad de dewatering.

Figura N° 30. Layout de equipos para dewatering.



Fuente: FJC Asesores y Servicios, “Tratamiento de Fluidos”

Elaborado por: David Santiago Rodríguez Valverde

### 3.3.2 Tratamiento de aguas industriales

Teniendo en cuenta que las locaciones tienden a ser bastante reducidas y que el reglamento ambiental vigente no permite piscinas para almacenamiento y tratamiento de aguas, todo el manejo y tratamiento de fluidos se realizará mediante un sistema cerrado en el cual se utilizarán tanques metálicos, este tipo de operación se la conoce como locación seca.

Con el objeto de reducir los volúmenes de agua generados durante la perforación se tomarán medidas que contribuirán a disminuir las captaciones, dentro de las cuales se encuentran:

- Reciclaje de agua industrial para preparación de lodo, limpieza y refrigeración de equipos.
- Preparación de químicos con la misma agua tratada.
- Utilizar el agua tratada para la dilución del lodo.

### **3.3.3 Proceso para tratamiento de cortes de perforación**

El manejo de los cortes se realiza mediante la recolección en dos tanques metálicos denominados Catch Tanks o Tanques de cortes, el primer tanque se encuentra ubicado bajo las zarandas, mudcleaner, este tanque tiene una capacidad de almacenamiento de 200 bbls y el segundo tanque se encuentra debajo de la descarga de las centrifugas, este último cuenta con una capacidad de almacenamiento de 100 bbls, los cortes serán evacuados por una retroexcavadora y posteriormente cargados a las volquetas, las cuales transportarán los sólidos hasta la zona de disposición.

Para calcular el volumen de sólidos generados en la perforación del pozo, se tiene como referencia el diámetro del hueco y la sección perforada, para determinar cuál es el volumen equivalente en superficie se ha estimado un factor volumétrico que involucra los siguientes factores:

- La expansión por descompresión.
- El wash-out.
- La humedad de los cortes por el lodo asociado a estos.
- El aporte adicional de los sólidos eliminados por las centrifugas (Trazas de Barita y bentonita).

- El ingreso al catch tank de lodo por alguna operación especial en los equipos de control de sólidos.
- Volúmenes extras por operaciones especiales como Side-Track.

De los anteriores factores, los que se pueden controlar mediante un sistema integral de desechos son: La humedad de los cortes y el ingreso de fluidos a los tanques de recolección los cuales pueden provenir de la limpieza de los equipos de control de sólidos, fallas mecánicas en las zarandas o centrífugas y roturas de mallas.

Teniendo en cuenta todos los anteriores factores, se ha determinado que los volúmenes estimados de manejo de cortes en superficie de acuerdo a datos históricos para cada campo son:

- Para mantener los cortes lo más deshidratados posibles se mantendrá una bomba neumática que tendrá como función evacuar el lodo y bombearlo hasta las centrífugas para su limpieza y reutilización.
- Los sólidos almacenados en el catch tank serán cargados a una volqueta por una retro excavadora y posteriormente transportados hasta la zona de disposición de cortes Figura N° 31.

Figura N° 31. Zona de Cortes



Fuente: David Santiago Rodríguez Valverde

Elaborado por: David Santiago Rodríguez Valverde

La centrifuga 1850, es una opción económica que ha dado muy buenos resultados tanto para lodos base agua como para lodos base aceite, puede procesar 250 gpm, es de velocidad variable y permite realizar dos tipos de procesos: 1) Dewatering al Sistema Activo, 2) LGS, ambos al sistema activo de acuerdo al criterio del ingeniero de fluidos es un equipo con una configuración especial diseñada para operar con altos torques y alto contenido de sólidos, este sistema deshidrata los cortes y recupera parte de los fluidos de perforación, el sistema de deshidratación tiene una eficiencia superior al 80%.

### **3.3.3.1 Control de sólidos por centrifugación**

Los objetivos principales son:

- Diseñar una configuración de centrifugas que provea un sistema de limpieza de sólidos eficiente el cual nos permita el máximo reciclaje del lodo de perforación.
- Seleccionar un equipo versátil de fácil montaje que nos permita movilizaciones y desmovilizaciones rápidas.
- Controlar los efluentes sólidos para garantizar la mínima humedad de los cortes.

#### Descripción del Proceso

El control de sólidos por centrifugación es el sistema de separación más importante en las operaciones de perforación ya que nos permite controlar y mantener las características reológicas del lodo, es por eso que se debe realizar una apropiada selección de estos equipos teniendo en cuenta el diseño mecánico del hueco, programa de lodos y diseño de la locación.

Las centrifugas seleccionadas tienen la función de eliminar los sólidos de baja gravedad y partículas de tamaño fino (menor a 10 micrones). Su diseño especial es ideal para tratar lodos de perforación base agua o aceite. El objetivo principal de este proceso es mantener la mínima carga de LGS, reduciendo el MBT, viscosidad plástica, geles, y aumentar tasas de penetración por reducción de los sólidos de baja gravedad (LGS).

Para operaciones con lodo no densificado el equipo debe estar configurado para separar sólidos de baja gravedad (LGS), para lograr una buena separación de LGS se requiere

que la centrífuga opere a fuerzas "G" más altas que las centrífugas configuradas para separar sólidos de alta gravedad (HGS).

La fuerza "G" se define como el número de veces que se incrementa la gravedad por la acción de la velocidad de rotación del tambor de la centrífuga, numéricamente se define como:

Ecuación N° 23. Cálculo de la fuerza G.

$$G = 0.0000142 \times D \times \text{RPM}^2$$

Fuente: FJC Asesores y Servicios, "Tratamiento de Fluidos"

Elaborado por: David Santiago Rodríguez Valverde

Donde;

G = Fuerza "G".

D = Diámetro del tambor de la centrífuga en pulgadas.

rpm = Revoluciones por minuto del tambor.

Dependiendo de la aplicación de la centrífuga se ajustan las RPM para operar a una fuerza G determinada, en la siguiente Tabla N° 11, se muestra la fuerza G requerida para cada aplicación:

Tabla N° 11. Fuerza G necesaria para distintos tipos de operaciones

TIPO DE OPERACIÓN	FUERZA "G"
Recuperación de material densificante en lodos de perforación	250 - 300
Dewatering de lodos de perforación	500 - 1000
Separación de sólidos de baja gravedad en lodos de perforación	>1000

Fuente: FJC Asesores y Servicios, "Tratamiento de Fluidos"

Elaborado por: David Santiago Rodríguez Valverde

### 3.4 Prueba de densidad de lodo

La densidad (comúnmente llamada peso del lodo) se mide con una balanza de lodo de suficiente precisión para obtener mediciones con un margen de error de 0,1 lb/gal (0,5 lb/pie<sup>3</sup> o 5 psi/1.000 pies de profundidad). A todos los efectos prácticos, la densidad significa el peso por volumen unitario y se mide pesando el lodo. El peso del lodo se puede expresar como gradiente de presión hidrostática en lb/pulg.2 por 1.000 pies de profundidad vertical (psi/1.000 pies), como densidad en lg/gal, lb/pie<sup>3</sup>, o como Gravedad Específica (SG); a continuación se muestra un factor de conversión entre unidades utilizadas en campo.

$$SG = \frac{\text{lb/gal}}{8,345} \text{ o } \frac{\text{lb/pie}^3}{62,3} \text{ o } \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

#### 3.4.1 Balanza de lodo

La balanza de lodo (ver la Figura N° 32), se compone principalmente de una base sobre la cual descansa un brazo graduado con un vaso, tapa, cuchillo nivel de burbuja de aire, caballero y contrapeso. Se coloca el vaso de volumen constante en un extremo del brazo graduado, el cual tiene un contrapeso en el otro extremo. El vaso y el brazo oscilan

perpendicularmente al cuchillo horizontal, el cual descansa sobre el soporte, y son equilibrados desplazando el caballero a lo largo del brazo.

Figura N° 32. Balanza de lodo



Fuente: Drilling Fluids Engineering Manual, MI SWACO.

Elaborado por: David Santiago Rodríguez Valverde

#### Calibración

1. Retirar la tapa del vaso y llenar completamente el vaso con agua pura o destilada.
2. Volver a colocar la tapa y secar con un trapo.
3. Colocar de nuevo el brazo de la balanza sobre la base, con el cuchillo descansando sobre el punto de apoyo.
4. La burbuja de nivel debería estar centrada cuando el caballero está en 8,33 lb/gal. Si no, ajustar usando el tornillo de calibración en el extremo del brazo de la balanza.

#### Procedimiento

1. Quitar la tapa del vaso y llenar completamente el vaso con el lodo a probar.
2. Volver a poner la tapa y girar hasta que esté firmemente asentada asegurándose que parte del lodo sea expulsado a través del agujero de la tapa.

3. Limpiar el lodo que está fuera del vaso y secar el vaso.
5. Colocar el brazo de la balanza sobre la base, con el cuchillo descansando sobre el punto de apoyo.
6. Desplazar el caballero hasta que el nivel de burbuja de aire indique que el brazo graduado está nivelado.
7. En el borde del caballero más cercano al vaso, leer la densidad o el peso del lodo.
8. Ajustar el resultado a la graduación de escala más próxima, en lb/gal, lb/pie<sup>3</sup>, psi/1.000 pies de profundidad o en Gravedad Específica (SG).

#### **3.4.2 Determinación del pH.**

El pH de un fluido de perforación indica su acidez o alcalinidad relativa. Un líquido perfectamente neutro tiene un pH de 7. una solución acida tiene un pH menor que 7; una solución alcalina tiene un pH mayor de 7. la medición del pH emplea el método colorimétrico, usando tiras de papel tratado químicamente como se aprecia en la Figura N° 33, o el método electrométrico, usando medidores de pH de electrodos de vidrio (ver Figura N° 34).

Los lodos bentoníticos normalmente poseen un pH dentro del valor de 8.5 a 9.5; La mayoría de los diluyentes deben tener un pH sobre 9 para activarse; el régimen de corrosión es mínimo en un pH entre 10 Y 12; los sistemas de cal poseen un pH alrededor de 12.

Figura N° 33. Palillos indicadores de pH.



Fuente: Drilling Fluids Engineering Manual, MI SWACO.

Elaborado por: David Santiago Rodríguez Valverde

Figura N° 34. Medidor de pH de electrodos de vidrio



Fuente: Drilling Fluids Engineering Manual, MI SWACO

Elaborado por: David Santiago Rodríguez Valverde

### 3.5 Cálculos de Muestreo

#### 3.5.1 Cálculos para pruebas de jarras

Una vez terminada la prueba de jarras y conocidas ya las concentraciones o mililitros (ppm) de cada solución adicionada a las jarras, se procede a calcular la cantidad de químico que debe ser adicionado a nuestro tanque utilizando las siguientes fórmulas:

1. Cálculos en base a concentraciones en mg/lt.

Es el método de cálculo más recomendado. Se puede aplicar la siguiente ecuación tomando como base una prueba de jarras en donde es constante la concentración de una solución de químico adicionado y el volumen de muestra tomado en las jarras:

Ecuación N° 24. Cálculo de concentraciones.

$$C_2 = \frac{C_1 * V_1}{V_2}$$

Fuente: FJC Asesores y Servicios, "Tratamiento de Fluidos"

Elaborado por: David Santiago Rodríguez Valverde

En donde;

V1 = Volumen de muestra en la jarra (ml)

C1 = Concentración en mg/L (mg/l) escogida

V2 = Volumen de solución a usar en la jarra en l

C2 = Concentración de solución patrón en mg/L (ppm)

Las cantidades de químico requeridas se obtienen de la siguiente manera:

- a) Para el caso en donde el químico adicionado es sólido.

Ecuación N° 25. Cálculo de concentración en kilogramos de químico.

$$\text{Kgs. de químico} = \frac{\text{Concentración determinada (PPM)} \times \text{Volumen en Tanque (m}^3\text{)}}{1000}$$

Fuente: FJC Asesores y Servicios, "Tratamiento de Fluidos"

Elaborado por: David Santiago Rodríguez Valverde

- b) Para el caso en donde el químico adicionado es líquido.

Ecuación N° 26. Cálculo de concentración en galones de polímero

$$\text{Gls. polímero} = \frac{\text{Concentración determinada (PPM)} \times \text{Volumen en Tanque (m}^3\text{)}}{3785}$$

Fuente: FJC Asesores y Servicios, "Tratamiento de Fluidos"

Elaborado por: David Santiago Rodríguez Valverde

Los valores 1000 y 3785, son las constantes de conversión utilizadas para expresar las cantidades de químico a adicionar al tanque en kilogramos o galones respectivamente.

Cuando se corre una prueba de jarras y se utiliza este método de cálculo, lo que realmente se está haciendo al adicionar (con la pipeta o una jeringa) la solución de químico a un vaso de muestra con agua cruda, es lo siguiente:

$$\text{PPM/ml (adicionado)} = \frac{\text{PPM solución adicionada}}{\text{ml muestra de agua}} = \text{PPM/ml de solución}$$

2. Cálculos en función de las concentraciones gravimétricas de las soluciones.

Para una solución en donde el químico a adicionar al tanque viene en presentación sólida (alumbre, cal hidratada, hipoclorito de Calcio, etc.), se tiene que:

Ecuación N° 27. Sacos de químico

$$\text{SacosdeQuímico} = \frac{\text{Vol.tanque}(m^3) * \text{ml desol. gastados} * X\% * 20}{\text{Vol.muestraempleada}}$$

En donde X% representa a la concentración de la solución al 1%, 2%, 10%, etc., pero expresada como 0.01, 0.02, 0.1 respectivamente. El valor de 20 es el factor de conversión que nos entrega en número de sacos de 50 Kgs.

Para una solución en donde el químico a adicionar a la piscina y/o tanque viene en presentación líquida (WC-10C, Nalco, Sumaclear, etc.), se tiene que:

Ecuación N° 28. Galones de polímero

$$\text{GalonesdePolímero} = \frac{\text{Vol.tanque}(m^3) * \text{ml desol. gastados} * X\% * 266}{\text{Vol.muestraempleada}}$$

Fuente: FJC Asesores y Servicios, "Tratamiento de Fluidos"

Elaborado por: David Santiago Rodríguez Valverde

En donde X% representa a la concentración de la solución al 1%, 2%, 10%, etc., pero expresada como 0.01, 0.02, 0.1 respectivamente. El valor de 266 es el factor de conversión que nos entrega el volumen de químico directamente en galones.

### 3.5.2 Cálculo de la capacidad y volumen de los fosos y tanques

Los cálculos de capacidad, volumen y desplazamiento usan relaciones volumétricas simples para rectángulos, cilindros, cilindros concéntricos y otras formas, con los factores apropiados de conversión de unidades.

Los tanques de los equipos de perforación pueden tener una variedad de formas, pero la mayoría son rectangulares o cilíndricos. Esta sección cubre dos formas de tanques utilizados en actividades de perforación en el país:

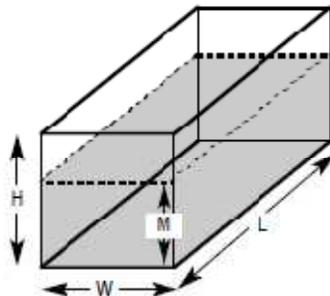
1. rectangular.
2. cilíndrico, vertical.

Los tanques de la unidad de dewatering son generalmente rectangulares con lados paralelos y extremos perpendiculares al fondo, los cuales se subdividen en compartimentos de capacidades diferentes, mientras que los fracktank son cilíndricos verticales con una capacidad de 500 bbls normalmente.

### 3.5.3 Volumen de tanques rectangulares

Para el tanque rectangular típico ilustrado en la Figura N° 35, la capacidad puede ser calculada a partir de la altura, anchura y longitud.

Figura N° 35. Tanque rectangular



Fuente: FJC Asesores y Servicios, "Tratamiento de Fluidos"

Elaborado por: David Santiago Rodríguez Valverde

Donde;

$V_{\text{Tanque}}$  = Capacidad del tanque

L = Longitud del tanque

W = Anchura del tanque

H = Altura del tanque

M = Altura del nivel de lodo

La ecuación general para calcular la capacidad de un recipiente rectangular es la siguiente:

Ecuación N° 29. Volumen tanque rectangular

Volumen = Longitud x Anchura x Altura

Fuente: FJC Asesores y Servicios, "Tratamiento de Fluidos"

Elaborado por: David Santiago Rodríguez Valverde

Es válida tanto para las unidades métricas como para las unidades norteamericanas.

Por lo tanto, la capacidad de un tanque rectangular, usando pies, se calcula de la siguiente manera:

Ecuación N° 30. Volumen tanque rectangular en  $\text{ft}^3$

$$V_{\text{Tanque}} (\text{ft}^3) = L (\text{ft}) \times W (\text{ft}) \times H (\text{ft})$$

Para convertir de  $\text{ft}^3$  a barriles, dividir por 5,61  $\text{ft}^3/\text{bbl}$ :

Ecuación N° 31. Volumen tanque rectangular en bbl.

$$V_{\text{Tanque}} (\text{bbl}) = \frac{L (\text{ft}) \times W (\text{ft}) \times H (\text{ft})}{5,61 \text{ ft}^3/\text{bbl}}$$

El volumen de lodo real (VLODO) en el tanque puede ser calculado usando la altura del nivel de lodo (M) de lodo/agua:

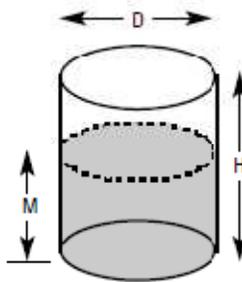
Fórmula N° 32. Volumen de lodo en el tanque rectangular en ft<sup>3</sup>.

$$V_{\text{Lodo}} (\text{ft}^3) = L (\text{ft}) \times W (\text{ft}) \times M (\text{ft})$$

### 3.5.4 Volumen de tanques cilíndricos verticales

Los tanques cilíndricos montados en posición vertical, de la manera ilustrada en la Figura N° 36, se usan para el almacenamiento de lodo líquido desplazado por el ingeniero de fluidos y para el tratamiento de agua de dewatering.

Figura N° 36. Tanque cilíndrico vertical.



Fuente: FJC Asesores y Servicios, “Tratamiento de Fluidos”

Elaborado por: David Santiago Rodríguez Valverde

Donde;

$V_{\text{Cil}}$  = Capacidad del tanque cilíndrico

D = Diámetro del cilindro

H = Altura del cilindro

M = Altura del nivel de material

$\pi = 3,1416$

Si no se conoce el diámetro, medir la circunferencia y dividir por 3,1416:

Ecuación N° 33. Diámetro tanque cilíndrico

$$D = \frac{\text{circunferencia del tanque}}{\pi} = \frac{\text{circunferencia del tanque}}{3,1416}$$

La fórmula general para calcular la capacidad de un tanque cilíndrico vertical es la siguiente:

Ecuación N° 34. Volumen tanque cilíndrico

$$V_{\text{Cil}} = \frac{\pi D^2 H}{4} = \frac{3,1416 D^2 H}{4} = \frac{D^2 H}{1,273}$$

Esta fórmula es válida para las unidades métricas y las unidades norteamericanas.

Por lo tanto, la capacidad de un tanque cilíndrico puede ser calculada de la siguiente manera:

Ecuación N° 35. Volumen tanque cilíndrico en ft<sup>3</sup>

$$V_{\text{Cil}} (\text{ft}^3) = \frac{\pi \times D^2 (\text{ft}) \times H (\text{ft})}{4} = \frac{3,1416 \times D^2 (\text{ft}) \times H (\text{ft})}{4} = \frac{D^2 (\text{ft}) \times H (\text{ft})}{1,273}$$

Ecuación N° 36. Volumen tanque cilíndrico en m<sup>3</sup>.

$$V_{\text{Cil}} (\text{m}^3) = \frac{\pi \times D^2 (\text{m}) \times H (\text{m})}{4} = \frac{3,1416 \times D^2 (\text{m}) \times H (\text{m})}{4} = \frac{D^2 (\text{m}) \times H (\text{m})}{1,273}$$

Para convertir pie<sup>3</sup>líquidos a barriles, dividir por 5,61 pie<sup>3</sup>/bbl:

Ecuación N° 37. Volumen tanque cilíndrico en bbl.

$$V_{\text{Cil}} (\text{bbl}) = \frac{\pi \times D^2 (\text{ft}) \times H (\text{ft})}{4 \times 5,61 (\text{ft}^3/\text{bbl})} = \frac{D^2 (\text{ft}) \times H (\text{ft})}{7,143}$$

El volumen de lodo real ( $V_{\text{Lodo}}$ ) de un tanque cilíndrico vertical se calcula usando la altura de nivel (M) de lodo/agua:

Ecuación N° 38. Volumen lodo en tanque cilíndrico en ft<sup>3</sup> o m<sup>3</sup>.

$$V_{\text{Lodo}} (\text{ft}^3 \text{ o } \text{m}^3) = \frac{\pi \times D^2 M}{4} = \frac{D^2 M}{1,273}$$

### 3.5.5 Capacidad del pozo

Aunque los volúmenes del pozo sean generalmente calculados con la tubería dentro del pozo, ocasionalmente necesitamos conocer la capacidad del pozo sin la tubería, de esta forma podemos estimar el volumen de cortes que tendremos en los equipos de control de sólidos.

La capacidad vertical de un intervalo de pozo puede ser calculada usando la ecuación para un recipiente cilíndrico vertical. Un pozo se compone generalmente de varios intervalos, con los diámetros más grandes cerca de la superficie, pasando progresivamente a secciones más pequeñas a medida que la profundidad aumenta.

Para obtener la capacidad de todo el pozo, cada intervalo debe ser calculado individualmente, luego se suman todos los intervalos.

El volumen de cada sección puede ser calculado a partir de la ecuación usada para un cilindro:

Ecuación N° 39. Volumen de cada sección del pozo.

$$V_{\text{Sección}} = \frac{\pi D^2 L}{4} = \frac{3.1416 \times D_{\text{Pozo}}^2 \times L}{4} = \frac{D_{\text{Pozo}}^2 \times L}{1.273}$$

Donde;

$D_{\text{Pozo}}$  = Diámetro Interior (DI) de la tubería de revestimiento, tubería de revestimiento corta o pozo abierto.

L = Longitud del intervalo

Cuando el tamaño o diámetro del pozo ( $D_{\text{Pozo}}$ ) está expresado en pulgadas:

Ecuación N° 40. Volumen de cada sección del pozo en bbl/ft.

$$V_{\text{Sección}} \text{ (bbl/ft)} = \frac{D_{\text{Pozo}}^2 \text{ (in.)}}{1,029}$$

Factor de conversión de unidades norteamericanas:

$$\frac{3,1416}{4} \times \frac{1 \text{ pie}^2}{144 \text{ in.}^2} \times \frac{1 \text{ bbl}}{5,61 \text{ ft}^3} = \frac{1}{1,029}$$

### 3.6 Evaluación del desempeño de la unidad de control de sólidos

Existen varios métodos para determinar el rendimiento económico. A continuación se presenta un método para comparar los costos de dilución en relación a la separación mecánica; para ello se utiliza el concepto del factor de dilución, (la cantidad de lodo

requerido para mantener una determinada concentración de sólidos por cada barril de sólidos que permanece en el lodo), para determinar los requerimientos de dilución.

Este método puede ser usado para determinar la eficiencia económica de cualquier equipo de control de sólidos.

El efluente es definido como el proceso de retorno del fluido al sistema activo de lodo (tanques de lodo) y el flujo de sólidos removidos del sistema de lodo es eliminado.

Para ello es necesario primero recurrir al balance de materiales, esto será de mucha ayuda para entender el proceso que se realiza en campo.

### **3.6.1 Balance de materiales**

La capacidad de realizar un balance de materiales constituye un elemento esencial de la ingeniería de fluidos de perforación. Los análisis de sólidos, las diluciones, y las ecuaciones de densidad creciente y mezcla están basados en los balances de materiales.

El concepto de balance de materiales está basado en la ley de conservación de la masa, la cual estipula que la masa no puede ser ni creada ni destruida.

Simplemente dicho, la suma de los componentes debe ser igual a la suma de los productos. Este concepto es válido para la masa y los átomos, pero no es siempre válido para las soluciones y los compuestos, debido a las solubilidades y las reacciones químicas.

Matemáticamente, el concepto de balance de materiales está dividido en dos partes:

- I. El volumen total es igual a la suma de los volúmenes de los componentes individuales.

Ecuación N° 41. Cálculo del volumen total.

$$V_{\text{Total}} = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + \dots$$

- II. La masa total es igual a la suma de las masas de los componentes individuales.

Ecuación N° 42. Cálculo de la masa total.

$$V_{\text{Total}} \rho_{\text{Total}} = V_1 \rho_1 + V_2 \rho_2 + V_3 \rho_3 + V_4 \rho_4 + \dots$$

Donde;

V = Volumen.

$\rho$  = Densidad.

El balance de materiales es válido tanto para las unidades norteamericanas como para las unidades métricas, siempre que se use la misma unidad para todos los cálculos.

Para resolver un balance de masas, primero se debe determinar los volúmenes y las densidades conocidas e incógnitas, e identificar los elementos como componentes o productos.

En general, las siguientes etapas permiten resolver las incógnitas:

- Etapla 1. Dibujar un diagrama (ver Figura N° 37).
- Etapla 2. Determinar los componentes y productos, señalar los volúmenes y las densidades como valores conocidos o incógnitas.

- Etapa 3. Desarrollar el balance de masas y volúmenes.
- Etapa 4. Sustituir una incógnita en el balance de masa y resolver la ecuación.
- Etapa 5. Determinar la segunda incógnita y calcular el consumo de materiales.

A continuación se muestra un ejemplo típico del cálculo de balance de masas para determinar el rendimiento económico en lodos no densificados.

Datos:

Tasa de ingreso = 30 gpm.

Densidad de sólidos = 17.0 m/v.

Densidad de ingreso = 10.0m/v.

Densidad del efluente = 9.0 m/v.

Total sólidos baja gravedad = 6%

Costo de lodo = \$15./bbl.

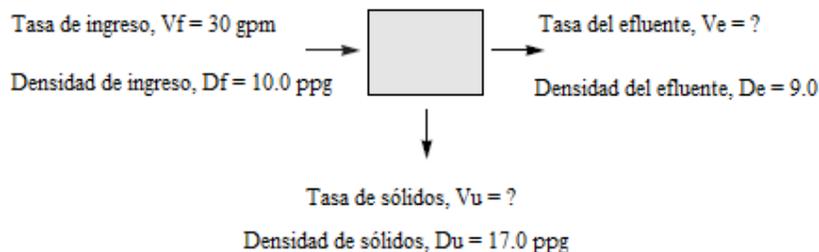
Costo de disposición = \$10./bbl.

Costo diario del equipo = \$600.

#### **Determinar el rendimiento económico.**

- 1) Determinar volúmenes de efluente y sólidos.
- 2) Cálculo de sólidos de baja gravedad (LGS) removidos por minuto.
- 3) Cálculo de la eficiencia de los equipos, comparado con la dilución.
- 4) Cálculo de los beneficios económicos.

Figura N° 37. Diagrama para cálculo por balance de materiales



Fuente: Clase de transporte de crudos Ing. Fausto Ramos.

Elaborado por: David Santiago Rodríguez Valverde

**1) Determinar volúmenes de efluente y sólidos.**

Utilizando la Fórmula N° 42, tenemos que:

$$D_f * V_f = (D_u * V_u) + (D_e * V_e);$$

$$(10.0 * 30) = (17.0 * V_u) + [9.0 * (30 - V_u)];$$

$$300 = 17V_u + 270 - 9V_u;$$

$$V_u = 30/8;$$

$$V_u = 3.75 \text{ gpm, tasa de sólidos.}$$

$$\text{Siendo: } (30 - V_u) = (30 - 3.75) = 26.25 \text{ gpm, tasa del efluente.}$$

**2) Cálculo de sólidos de baja gravedad (LGS) removidos por minuto.**

a) Cálculo de LGS en los sólidos:

Siendo, X = la fracción decimal de LGS;

$$17/8.33 = X(2.6) + (1-X);$$

$$2.04 = 2.6X + 1 - X;$$

$$1.04 = 1.6X;$$

$$X = 1.04/1.6 = .65 \text{ ó } 65\% \text{ LGS en los sólidos.}$$

b) Cálculo de LGS removidos:

$$3.75 * .65 = 2.44 \text{ gpm de LGS.}$$

**3) Cálculo de la eficiencia de los equipos, comparado con la dilución.**

a) Dilución:

Asumir que 9.0 m/v de fluido es el fluido deseado. Este contiene 5% sólidos deseados. La dilución equivalente requerida para tratar los sólidos removidos, es el volumen removido dividido para la fracción deseada de sólidos.

$$2.44/.05 = 48.8 \square 49 \text{ gpm de dilución requerida.}$$

$$\text{ó } (49 \text{ gal/min} * 60 \text{ min/hr}) / 42 \text{ gal/bbl};$$

$$= 70 \text{ bbls por hora de dilución.}$$

Costo de dilución = Volumen \* (Costo unitario de lodo +Costo de disposición);

$$\text{Costo de dilución: } \$ = 70 * (\$15 + \$10)$$

**\$1750 Costo de dilución por hora.**

b) Tratamiento mecánico:

Costo tratamiento mecánico=[Volumen perdido de líquido \* (Costo unitario de lodo + Costo de disposición)] + Costo del equipo.

$$3.75 * (1-.65) = 1.3 \text{ gpm de líquido removido;}$$

$$\text{ó } (1.3 * 60 \text{ min/hr}) / 42 \text{ gal/bbl};$$

$$= 1.85 \text{ bbl/hr líquidos removidos.}$$

$$\text{Costo tratamiento mecánico: } \$ = [1.85 * (\$15 + \$10)] + \$600/24$$

**\$71.25 = Costo por hora de remoción de LGS.**

**4) Cálculo de los beneficios económicos.**

Costo por hora \$ = (costo de remoción) - (costo de dilución);

Costo por hora \$ = \$71.25 - \$1750;

**Costo por hora \$ = \$(1678.75).**

Como podemos ver en este ejemplo se tiene un ahorro de \$1679 comparado con la dilución, con lo que se refleja que es preferible utilizar medios mecánicos de separación, frente a la dilución, con lo que se puede ahorrar un 95% en costos de tratamiento de fluidos.

## **CAPÍTULO IV**

## CAPÍTULO IV

### 4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS

El Servicio de Control de Sólidos y Tratamiento de Efluentes está a cargo de la Compañía Tuboscope Vetco International Inc.

De acuerdo al programa se perforó la sección de 26" en un (1) día y se bajó casing conductor de 20" hasta la profundidad de 293 pies (TD); la sección de 16" se perforó en siete (7) días y se baja casing de 13 3/8" a 5.645 pies (TD); la sección de 12 1/4" se perforó en doce (12) días y se baja casing de 9 5/8" a la profundidad de 9.034 pies (TD) y la sección de 8 1/2" se perforó en seis (6) días y se baja liner de 7" a la profundidad de 10.510 pies (TD); incluyendo operaciones de cementación.

Actividades desarrolladas en el campo:

- Control de las concentraciones de sólidos de baja gravedad (LGS) en los fluidos de perforación.
- Reciclaje de agua producto de la deshidratación de lodos (dewatering) al sistema activo de fluidos de perforación para minimizar el uso de agua fresca.
- Control de volúmenes de cortes de perforación y disposición en volquetas que se entregaron a la compañía encargada del transporte de los efluentes sólidos.

- Envío de muestras líquidas (agua tratada) a un laboratorio independiente para el análisis físico-químico cumpliendo lo estipulado en el Reglamento Oficial 265, Decreto 1215. ( anexo)
- Coordinación con el Ingeniero Ambiental para la disposición final y transporte del agua tratada.
- Verificación en la locación de los parámetros de pH y Conductividad Eléctrica de los rios y cortes de perforación.

#### **4.1 TRATAMIENTO DE FLUIDOS Y EFLUENTES DE PERFORACIÓN**

Para el cumplimiento de las disposiciones del Reglamento Ambiental para Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador (RAOHE) referentes a las actividades de perforación, Tuboscope Vetco International Inc. ha dispuesto su personal y equipos para:

- Recolectar los fluidos residuales provenientes de la perforación, evitando descargas sin previo tratamiento hacia el medio ambiente o canales adyacentes.
- Mantener en la locación el equipo, material y personal capacitado en caso de que se presenten situaciones de emergencia.
- Eliminar materiales no deseados (sólidos de baja gravedad o LGS), en el lodo de perforación reduciendo volúmenes de fluidos a ser tratados y dispuestos.
- Obtener agua de calidad adecuada para ser reutilizada en las diferentes operaciones de perforación.
- Suministrar el equipo de laboratorio, así como los procedimientos necesarios, para realizar los análisis físico-químicos.

## **4.2 PROCESO DE DEWATERING**

El sistema de “dewatering” ha sido diseñado para procesar lodo y otros fluidos residuales que proceden de las siguientes fuentes:

- Lodo descargado desde el sistema activo con la intención de disminuir los niveles en los tanques donde circula este fluido.
- Exceso de lodo descartado por el ingeniero de lodos a través del equipo de control de sólidos (zarandas, acondicionador de lodos, bombas, tanques de cortes, etc.) o descargado desde la trampa de arena y contrapozo.
- Por evacuación controlada desde el sistema activo con el uso de una bomba centrífuga hacia los tanques verticales, ya sea por exceso de volumen en los tanques de lodo, cambio de lodo o finalización de pozo, es decir, de acuerdo a las condiciones de la perforación y a los requerimientos del ingeniero de fluidos.

## **4.3 TRATAMIENTO DE AGUAS**

El agua proveniente del “dewatering”, contra pozo, lavado de equipos y de otras actividades inherentes a la perforación, se trató mediante el proceso de coagulación, floculación y sedimentación, con el uso de coagulantes, floculantes, controladores de pH, polímeros anicónicos y catatónicos, además de desinfectantes.

Previo a la disposición del agua tratada se realizaron los análisis de laboratorio en la locación para el control de la calidad del agua de acuerdo con lo que se establece el

RAOHE, Tabla N° 4 y 5 descritas en el Capítulo 2, en la sección de Estudio Ambiental; cuyos resultados se registraron en las actas de monitoreo correspondiente.

#### **4.4 MANEJO Y DISPOSICIÓN DE CORTES DE PERFORACIÓN**

Los lodos utilizados (Gel Polymer, Per-flex, Drill-IN) durante la perforación, se someten a un proceso de deshidratación, mediante el uso de centrifugas de alta velocidad y con ayuda de polímeros no iónicos. Estos lodos y ripios se entregaron a la Compañía encargada la cual es la responsable del manejo y de la disposición final de los cortes, ripios y residuos de cementación de las operaciones de perforación.

Para esto existe un documento que se lo llama cadena de custodia del fluido tratado en este caso. ( se anexa un documento similar al mismo), este debe cumplir a cabalidad con los límites permisibles del RAHOE.

#### **4.5 CÁLCULO DE VOLÚMENES**

La unidad de dewatering cuenta con 3 tanques rectangulares, empleando las Ecuaciones N° 31 y 37, se ha calculado la capacidad de cada tanque en barriles, descrito a continuación:

- El primero denominado el tanque de lodo donde se recibe el lodo de los tanques para ser tratado en la unidad, capacidad de 50 bbls.
- El segundo denominado el tanque de agua donde se recibe el agua de retorno de las centrifugas, capacidad de 80 bbls.
- El tercero, tanque de polímero, donde se realiza la mezcla entre el polímero y el agua contenida en el tanque de agua, capacidad de 80 bbls.

Es decir, en la unidad de dewatering se cuenta con una capacidad total de 210 bbls.

También se cuenta con 6 tanques cilíndricos verticales de 500 bbls de capacidad cada uno, donde los 4 primeros tanques “fracktanks”, sirven para almacenar lodo que sea desplazado por el ingeniero de fluidos; los 2 tanques restantes se utilizan para el tratamiento y clarificación de agua.

#### **4.6 CÁLCULO DE CONCENTRACIONES DE POLÍMERO**

Siguiendo los procedimientos descritos en el Capítulo 3, en la sección de prueba de jarras se realizaron varias pruebas a distintas concentraciones de polímero para determinar la concentración óptima para el tratamiento del lodo.

#### **4.7 VOLÚMENES DE SÓLIDOS DISPUESTOS**

Los sólidos obtenidos en este proceso son el resultado de:

- Ripios producidos durante la perforación y que son separados en las zarandas.
- Deshidratación del lodo “Dewatering”.
- Sólidos de baja gravedad (LGS)
- Sólidos provenientes del acondicionamiento del lodo.
- Residuos de cementación.
- Sedimentos del Tratamiento del agua.

Del total de 7522 bbl de cortes generados en este pozo, 446 bbl corresponden a material procedente de cementación de las diferentes secciones del pozo. El volumen total de cortes y ripios (incluyendo los residuos de cementación) fueron entregados a la Cía. encargada de la disposición.

#### **4.8 ANÁLISIS DE VOLÚMENES PROCESADOS**

##### **VOLÚMENES GENERADOS EN LA SECCIÓN DE 26”.**

Se alcanzó una profundidad 293 pies, no se proceso lodo en esta sección, a esta profundidad se cementó el casing de 20”. Tiempo de duración de la sección un (1) día.

##### **VOLÚMENES GENERADOS EN LA SECCIÓN DE 16”.**

Se alcanzó una profundidad total del hoyo al punto de casing de 5645 pies, la profundidad perforada de la sección de 16” es 5352 pies. Se procesaron 7221 bbls de Lodo Nativo con un peso promedio de 9,8 lpg. Se cementa el casing de 13 3/8” a 5645 pies. El tiempo de duración de esta sección es de siete (7) días.

##### **VOLÚMENES GENERADOS EN LA SECCIÓN DE 12 1/4”.**

Profundidad total del hoyo al punto de casing de 9034 pies, profundidad perforada de la sección de 12 1/4” es 3389 pies. Se procesaron 3446 bbls de Lodo Per-flex con un peso promedio de 10,0 lpg. Se cementa el casing de 9 5/8” a 9034 pies. Tiempo de duración de esta sección es de doce (12) días.

##### **VOLÚMENES GENERADOS EN LA SECCIÓN DE 8 1/2”.**

Profundidad total del hoyo al punto de liner de 7”, 10510 pies. Profundidad perforada de la sección de 8 1/2” es 1476 pies. Se procesaron 4039 bbls de Lodo Drill-IN con un peso promedio de 10,4 lpg. Se cementa el liner de 7” a 10510 pies. Tiempo de duración de la sección seis (6) días. Se termina de procesar el lodo desplazado del pozo once (11) días después de finalizado el pozo.

A continuación se presenta la Tabla N° 12, la cual contiene los datos de volúmenes de fluido, sólidos procesados y tratamiento de agua.

Tabla N° 12. Volúmenes de fluido, sólidos procesados y tratamiento de agua.

Volumen (bbls)	Sección			
	26 "	16 "	12 1/4 "	8 1/2 "
Lodo procesado	0	7221	3446	8100
Retorno al sistema activo	0	3341	0	0
Tratamiento de aguas	0	1345	3600	7200
Agua tratada (Disposición)	0	1200	3100	4700
Cortes producidos	44	1147	477	103
Cortes procesados	0	2176	974	2644
Cortes dispuestos	44	3279	1452	2747

Fuente: Drilling Fluids Engineering Manual, MI SWACO

Elaborado por: David Santiago Rodríguez Valverde

#### 4.9 ANÁLISIS COMPARATIVO

Para realizar un análisis comparativo, se ha tomado en cuenta parámetros inherentes al proceso que se realiza en la unidad de dewatering, especialmente y con más énfasis los relacionados al consumo de química, es decir gasto de polímero.

Para realizar este análisis, partimos del promedio de densidad utilizado en cada sección del pozo, donde de las características del lodo a ser tratado depende mucho el consumo de polímero; entre estas características principales de las cuales depende el consumo de polímero están: 1) Densidad, 2) Viscosidad, 3) Contenido de sólidos de baja gravedad(LGS), para lo cual es necesario realizar pruebas de jarras para determinar la concentración óptima de polímero a la cual se va a procesar el fluido de perforación;

cabe recalcar que este proceso de determinación de la concentración óptima depende mucho de las características antes mencionadas, sobre todo de su densidad; es decir para una distinta densidad de lodo se requerirá una concentración distinta.

Como se dijo anteriormente partiendo de la densidad promedio utilizada en cada sección se realizó el cálculo de concentraciones, como se muestra en la Tabla N° 13, una relación empírica entre densidad de lodo y concentración de polímero.

Tabla N° 13. Densidad de lodo vs. Concentración de cada sección

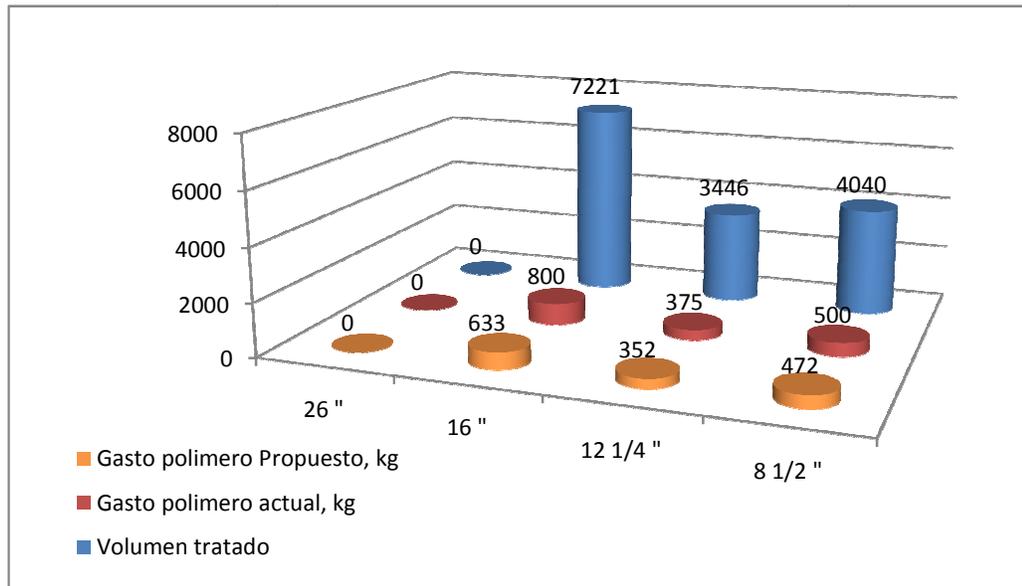
Sección	Densidad lodo, lpg	Concentración, %
26 "	-	-
16 "	9,8	0,024
12 1/4 "	10	0,028
8 1/2 "	10,4	0,032

Fuente: Drilling Fluids Engineering Manual, MI SWACO

Elaborado por: David Santiago Rodríguez Valverde

Una vez determinada la concentración para cada densidad de lodo a ser tratado se procedió a calcular la cantidad de polímero utilizado, en relación al volumen de los tanques de polímero existentes en la unidad de dewatering.

Figura N° 38. Comparación entre gasto de polímero actual vs. gasto de polímero propuesto para cada sección.



Elaborado por: David Santiago Rodríguez Valverde

Fuente: David Santiago Rodríguez Valverde

En la Figura N° 38, se observa una comparación entre el gasto de polímero actual vs. el propuesto en relación a la cantidad de fluido tratado.

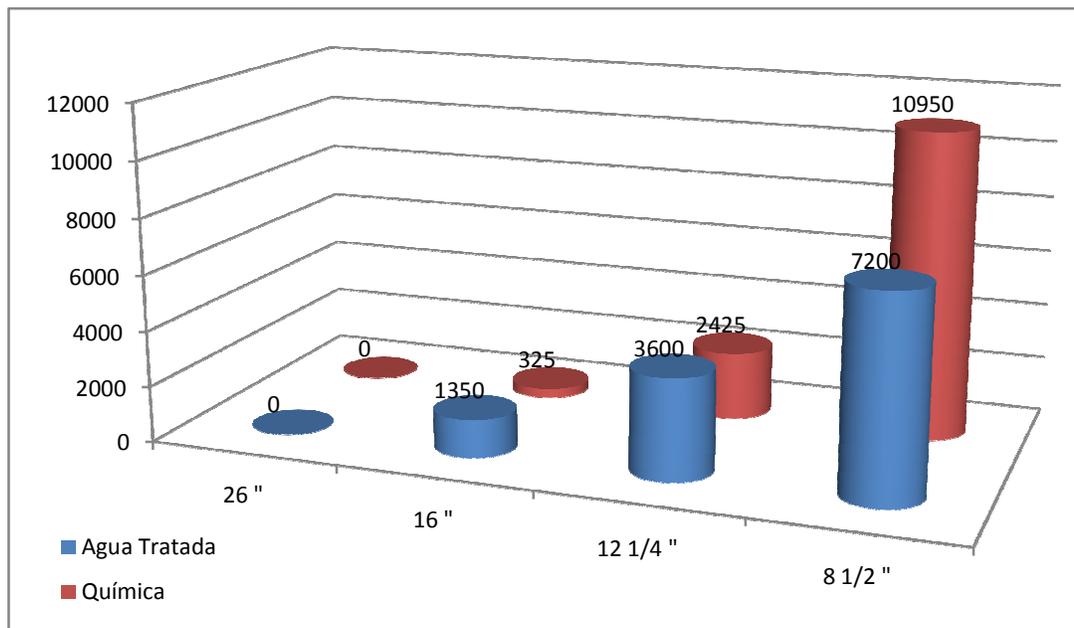
En la sección de 16” podemos observar que se consume una mayor cantidad de polímero, esto se debe a la cantidad de lodo que se procesa, el 100% del agua resultante del proceso de dewatering fue retornado al sistema activo para ser re-utilizado, de esta manera se optimiza recursos y costos de dilución.

El promedio de lodo procesado del pozo fue de 588 bbls/día., el promedio de polímero ocupado en el pozo por el diseño actual fue de 67 Kg/día., con el diseño propuesto

hubiera sido de 59 Kg/día., con esto se tendría una optimización en gasto de polímero del 12%.

En las secciones de 16" y 8 1/2", se observa una mayor cantidad de lodo procesado.

Figura N° 39. Química utilizada en el tratamiento de agua en las distintas secciones



Elaborado por: David Santiago Rodríguez Valverde

Fuente: David Santiago Rodríguez Valverde

Como se observa en la Figura N° 39., en la sección de 8 1/2" se consume una mayor cantidad de química en el tratamiento del agua, se debe indicar que el agua tratada no solo provenía del proceso de deshidratación del lodo sino también del lavado de los equipos del taladro, agua que provenía del contrapozo y agua que se empleó para lavar los equipos de cementación.

Se observa un mayor volumen de agua tratada en las secciones de 12 1/4" y 8 1/2".

# **CAPÍTULO V**

## CAPÍTULO V

### 5.1 CONCLUSIONES

- El Servicio de Control de Sólidos, Tratamiento y Disposición Final de los Fluidos y Efluentes de Perforación se realizó conforme a lo planificado.
- Mediante la eliminación de coloides y sólidos de baja gravedad (LGS) se minimiza la preparación de lodo nuevo, manteniendo las propiedades reológicas del lodo.
- Re-utilizar el agua de dewatering para la dilución del lodo se minimiza el volumen de descarga de agua tratada al ambiente y la utilización de agua fresca para la preparación de nuevo lodo, optimizando recursos y costos de dilución.
- El agua tratada de acuerdo a los análisis físico-químicos realizados cumple con los límites establecidos en la Tabla No 4a del Anexo 2 del RAOHE, y fue evacuada mediante unidades Vacuum y enviada al sistema de reinyección para su disposición final según lo dispuesto por el CompanyMan del Pozo, por Supervisor Ambiental y por el Departamento de Protección Ambiental de la Operadora.
- Se entregaron a la Compañía encargada de la disposición de los efluentes sólidos, 7522 bbls de cortes y ripios de perforación, con actas de entrega y

cadena de custodia, también se entregaron 446 bbls de cemento y residuos de cementación de las diferentes secciones del pozo.

- Es preferible utilizar medios mecánicos de separación, frente a la dilución, con lo que se puede ahorrar un 95% en costos de tratamiento de fluidos.
- La concentración óptima de polímero en la unidad de dewatering depende de las características inherentes al lodo, principalmente de la densidad, por lo que para cada valor de densidad de lodo se requerirá una concentración distinta de polímero, es decir una cierta cantidad de polímero.
- El proceso de incluir polímero en los tanques de la unidad de dewatering es un procedimiento dinámico por lo que realizar pruebas de jarras para determinar concentraciones óptimas se vuelve complejo, con este antecedente, la utilización de polímero depende mucho del criterio y de parámetros organolépticos del operador.
- El promedio de polímero ocupado en el pozo por el diseño actual fue de 67 Kg/día., con el diseño propuesto hubiera sido de 59 Kg/día., con esto se tendría una optimización en gasto de polímero del 12%.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Para realizar un efectivo control de sólidos se recomienda el uso frecuente y adecuado del equipo que está disponible en la locación, zarandas, acondicionador de lodo y centrífugas; con el fin de aumentar su eficiencia y mantener las propiedades reológicas del lodo.
- El uso de mallas finas de mesh 215 y mesh 255, es fundamental en el primer frente de control (zarandas), por lo tanto recomendamos no usar mesh más bajos a éstos.
- Durante la cementación de la sección de 16”, de reciben grandes volúmenes de residuos de cementación como retorno, se debe evaluar los excesos de cemento durante las operaciones de cementación.
- Continuar con la buena práctica de retornar el agua del dewatering al sistema activo “recircular” para la preparación de lodo nuevo, dilución, etc.
- Desalojar residuos sólidos del lavado de los tanques del sistema con mayor diligencia.

- Minimizar el uso de agua fresca para lavado de los tanques del sistema activo, o en su lugar se podría utilizar agua de dewatering.
- Realizar un estudio sobre la factibilidad de incorporar a la unidad de dewatering una unidad de control automatizado que permita regular concentraciones en relación a los parámetros inherentes al lodo de perforación a fin de disminuir el error humano y aumentar su eficiencia.

## BIBLIOGRAFÍA

- BAKER HUGHES INTEQ, “Manual De Ingeniería”, Agosto de 1998.
- BAROID DRILLING FLUIDS INC, “Baroid Fluids Handbook”, Agosto 1997.
- BENALCÁZAR Pablo, REYES Víctor, “Efectos Reológicos En La Limpieza Del Pozo”, QMAX ECUADOR, 2002, Pág. 1-6.
- BRANDT, “The Handbook On Solids Control And Waste Management”, 6<sup>th</sup> edition, 1996.
- LUMMUS, James, AZAR, J.J, “Drilling Fluids Optimization”, PennWell Publishing Company, Tulsa Oklahoma, 1986.
- MARSHALL, William, BRANDT, Louis, “Solids Control in a Drilling Fluid”.
- MI-SWACO, “Drilling Fluids Engineering Manual”, Versión 2.1, 2006.
- M-I SWACO, “Drill-in fluid reduces formation damage, increases production rates”. Oil & Gas Journal Reprint, 1998.
- M-I SWACO, “Catalog Wellbore Productivity”, 2008.

- M-I SWACO, “Fluidos de Perforación de Yacimiento”, 2008.
- MAVLIÚTOV M.R., “Tecnología de Perforación de Pozos Profundos”, ed. Mir Moscú, 1986.
- PETROPRODUCCION, DPTO. PERFORACIÓN “Perforación de pozos”.
- QMAX ECUADOR, “Folletos De Fluidos De Perforación Y Completación”,2002.
- QMAX ECUADOR, “Manual De Procedimientos Para El Control, Manejo Y Tratamiento De Los Residuos De Perforación De Pozos Petroleros En El Ecuador”, Diciembre 6, 2004.
- REGLAMENTO SUSTITUTIVO DEL REGLAMENTO AMBIENTAL PARA LAS OPERACIONES HIDROCARBURÍFERAS EN EL ECUADOR, Decreto No. 1215, Registro Oficial No. 265 de 13 de Febrero de 2001, Ecuador.
- RUIZ Marco, “Tecnología aplicada en los fluidos de perforación”.
- SCHULUMBERGER, “Manual de Funciones de los fluidos de perforación”, Febrero 14, 2001.
- SIERO Luis, “Fluidos de perforación”.

## CITAS BIBLIOGRÁFICAS

1. LUMMUS, James, AZAR, J.J, Drilling Fluids Optimization.
2. SCHULUMBERGER, Manual de Funciones de los fluidos de perforación.
3. MI SWACO, Drilling Fluids Engineering Manual.
4. SCHULUMBERGER, Manual de Funciones de los fluidos de perforación.
5. RUIZ Marco, Tecnología aplicada en los fluidos de perforación.
6. RUIZ Marco, Tecnología aplicada en los fluidos de perforación.
7. SIERO Luis, Fluidos de perforación.
8. BAKER HUGHES, Manual de ingeniería.
9. SCHULUMBERGER, Manual de Funciones de los fluidos de perforación.
10. SIERO Luis, Fluidos de perforación.
11. BAKER HUGHES, Manual ingeniería.
12. MI SWACO, Drilling Fluids Engineering Manual.

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

**Agente Espumante** Una sustancia que produce burbujas relativamente establece la superficie de contacto aire-líquido, debido a la agitación, aireación o ebullición. En la perforación con aire o gas, se agregan agentes espumantes para ayudar a eliminar los influjos de agua y prevenir la formación de anillos de lodo.

**Agente Floculante** Sustancias, como la mayoría de los electrolitos, algunos polisacáridos y ciertos polímeros naturales o sintéticos, que producen el espesamiento de la consistencia de un fluido de perforación. En los fluidos plásticos de Bingham, el punto cedente y el esfuerzo de gel aumentan.

**Aireación** La técnica de inyectar aire o gas en cantidades variables dentro de un fluido de perforación para reducir el cabezal hidrostático.

**Álcali** Cualquier compuesto con propiedades básicas marcadas que produce un valor de pH mayor que 7.

**Alcalinidad** El poder combinados de una base medido por el número máximo de equivalentes de un ácido con el cual puede reaccionar para formar una sal. En el análisis de agua, representa los carbonatos; bicarbonatos; hidróxidos; y ocasionalmente los boratos, silicatos y fosfatos en el agua. Se determina mediante la valoración con ácido estándar hasta ciertos puntos de referencia.

**Anión** Un átomo o radical cargado negativamente, como  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , etc., en solución de un electrolito. Los aniones se mueven hacia el ánodo (electrodo positivo) bajo la influencia de un potencial eléctrico.

**Antiespumante** Una sustancia usada para prevenir la formación de espuma aumentando considerablemente la tensión superficial.

**Arcilla** Una tierra plástica, blanda, de varios colores, comúnmente un silicato hidratado de alúmina, formado por la descomposición de feldespatos y otros silicatos de aluminio. Los minerales arcillosos son generalmente insolubles en agua, pero se dispersan bajo hidratación, esfuerzos de corte como la molienda, los efectos de velocidad, etc., formando partículas extremadamente pequeñas con tamaños comprendidos entre tamaños submicrónicos y 100 micrones.

**Arcilla atapulguita** Una arcilla coloidal viscosificante que se usa principalmente en lodos a base de agua salada. La atapulguita, una tierra de Fuller especial, es un silicato de aluminio de magnesio hidratado.

**Arena** Un material suelto granuloso producido por la desintegración de rocas, generalmente sílice.

**Átomo** Según la teoría atómica, se trata de la cantidad más pequeña de un elemento que es capaz de entrar en una combinación química o que puede existir solo.

**Balanza de Lodo** Una balanza de balancín usada para determinar la densidad del lodo. Se compone principalmente de una base, un balancín graduado con un vaso de volumen constante, una tapa, un caballero, un cuchillo y un contrapeso.

**Barita, Baritina o Sulfato de Bario** Sulfato de bario natural usado para aumentar la densidad de los fluidos de perforación. Cuando se requiere, normalmente se mejora a una gravedad específica de 4,20. La barita existe en minerales o masas cristalinas blancas, grisáceas, verdosas y rojizas.

**Barril** Una unidad volumétrica de medición usada en la industria del petróleo, igual a 42 galones U.S.

**Barril Equivalente** Una unidad de laboratorio usada para evaluar o probar los fluidos de perforación. Un gramo de material, al ser añadido a 350 ml de fluido, es equivalente a 1 lb de material añadido aun barril de fluido de 43 galones.

**Bentonita** Una arcilla coloidal plástica que se compone principalmente del mineral montmorilonita de sodio, un silicato de aluminio hidratado. Para ser usada en fluidos de perforación, la bentonita tiene un rendimiento mayor que 85bbl/tonelada. El término genérico “bentonita” no constituye un nombre mineralógico exacto, y la arcilla no tiene una composición mineralógica definida.

**Bombas de Lodo** Bombas en el equipo de perforación, usadas para hacer circular los fluidos de perforación.

**Cabeza Hidrostática** La presión ejercida por una columna de fluido, generalmente expresada en libras por pulgada cuadrada (lb/pulg.<sup>2</sup>). Para determinar la cabeza hidrostática en psi a una profundidad determinada, multiplicar la profundidad en pies por la densidad en libras por galón por 0,052.

**Cal** Forma comercial del hidróxido de calcio. Cal Viva Óxido de calcio (CaO). Usada en ciertos lodos base aceite para neutralizar el ácido orgánico.

**Calcio** Uno de los elementos alcalinos de la tierra con una valencia de 2 y un peso atómico de aproximadamente 40. Los compuestos de calcio son una causa común de la dureza del agua. También es un componente de la cal, yeso, caliza, etc.

**Calizab(CaCO<sub>3</sub>)** Una sal de calcio insoluble a veces usada como material densificante (caliza, concha de ostra, etc.) en fluidos de perforación especializados. También se usa como unidad y/o norma para reportar la dureza.

**Catión** Partícula cargada positivamente en la solución de un electrolito que, bajo la influencia de un potencial eléctrico, se mueve hacia el cátodo (electrodo negativo). Los ejemplos incluyen:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{Al}^{3+}$ .

**Cemento** Una mezcla de aluminatos y silicatos de calcio obtenido mediante la combinación de cal y arcilla durante el calentamiento. El cemento hidratado contiene aproximadamente 62,5% de hidróxido de calcio, el cual constituye la fuente principal de problemas cuando el cemento contamina el lodo.

**Centímetro Cúbico (cm<sup>3</sup>)** Una unidad métrica para medir el volumen. Es básicamente igual a un mililitro y ambos se usan de manera intercambiable. Un centímetro cúbico de agua a la temperatura ambiente pesa aproximadamente 1 gramo.

**Centipoise (cP)** Una unidad de viscosidad igual a 0,01 poise. Un poise es igual a 1 g por metro-segundo, y un centipoise es igual a 1 g por centímetro-segundo. La viscosidad del agua a 20°C es 1,005 cP (1cP = 0,000672 lb/pies-seg.).

**Centrífuga** Un aparato para la separación mecánica de los sólidos de alta gravedad específica de un fluido de perforación. Se usa generalmente en lodos densificados para recuperar el material densificante y desechar los sólidos perforados. La centrífuga usa una rotación mecánica a alta velocidad para lograr esta separación, a diferencia del separador del tipo ciclónico donde la energía del fluido sola proporciona la fuerza de separación.

**Circulación** El movimiento del fluido de perforación desde el tanque de succión, pasando a través de la bomba, la tubería de perforación, la barrena, el espacio anular en el pozo, y luego regresando de nuevo al tanque de succión. El tiempo requerido suele ser llamado tiempo de circulación.

**Circulación, Pérdida de (o Perdida)** El resultado de la fuga de fluido de perforación dentro de la formación a través de fisuras, medios porosos o dentro de fracturas.

**Coagulación** En la terminología de fluidos de perforación, se refiere generalmente a la floculación y deshidratación.

**Coalescencia** El cambio de un líquido a un estado “cuajado” denso mediante una reacción química. También la combinación de glóbulos en una emulsión, causada por la atracción molecular de las superficies.

**Cohesión** La fuerza de atracción entre moléculas del mismo tipo, i.e., la fuerza que mantiene unidas las moléculas de una sustancia.

**Coloide** Un estado de subdivisión de la materia que consta de moléculas individuales de gran tamaño o de agregaciones de moléculas más pequeñas, dispersas de tal manera que las fuerzas superficiales constituyen un factor importante para la determinación de sus propiedades. El tamaño y la carga eléctrica de las partículas determinan los diferentes fenómenos observados con coloides, por ej.: el movimiento browniano. Los tamaños de los coloides están comprendidos entre  $1 \times 10^{-7}$  y  $5 \times 10^{-5}$  cm (0,001 a 0,5 micrones) de diámetro, aunque las partículas de ciertos emulsionantes pueden tener un tamaño micrónico.

**Coloide liofílico** Un coloide que no se precipita fácilmente a partir de una solución y que se dispersa fácilmente después de la precipitación mediante la adición del solvente.

**Coloide liofóbico** Un coloide que se precipita fácilmente a partir de una solución y que no se puede dispersar de nuevo mediante una adición de solución.

**Compatibilidad** Una medida de la tendencia de dos sustancias (sólidos, líquidos, mezclas, etc.) a actuar o reaccionar o no sinérgicamente. (A diferencia de la

incompatibilidad, donde cualesquier materiales reaccionan antagonísticamente, resultando en efectos negativos.)

**Concentración de Sólidos** La cantidad total de sólidos en un fluido de perforación, determinada por destilación, que inclúyelos sólidos disueltos y los sólidos suspendidos o no disueltos. El contenido de sólidos suspendidos puede constar de una combinación de sólidos de gravedad específica alta y baja y sólidos nativos o comerciales. Los ejemplos de sólidos disueltos incluyen las sales solubles de sodio, calcio y magnesio. Los sólidos suspendidos forman el revoque; los sólidos disueltos permanecen en el filtrado. Los contenidos totales de sólidos suspendidos y disueltos están generalmente expresados como porcentaje en volumen, y con menor frecuencia, como porcentaje en peso.

**Concentración Iónica de Hidrógeno** Una medida de la acidez o alcalinidad de una solución, normalmente expresada como pH.

**Conductividad** Una medida de la cantidad de electricidad transferida a través del área unitaria por gradiente de potencial unitario por unidad de tiempo. Se trata del recíproco de la resistividad. Electrolitos pueden ser agregados al fluido de perforación para modificar su conductividad para realizar los registros.

**Contaminación** La presencia en un fluido de perforación de cualquier materia extraña que tienda a producir propiedades perjudiciales del fluido de perforación.

**Contenido de Arena** El contenido de arena de un fluido de perforación es el contenido de sólidos abrasivos insolubles rechazados por un entramado de malla 200. Se suele expresar como porcentaje en volumen total de arena en un fluido de perforación. Esta prueba es de tipo elemental debido a que los sólidos retenidos no se componen necesariamente de sílice ni tampoco son totalmente abrasivos. Para más información

sobre los tipos de sólidos retenidos por un entramado de malla 200, se requieren otras pruebas específicas.

**Copolímero** Una sustancia formada cuando dos o más sustancias se polimerizan al mismo tiempo para generar un producto que no constituye una mezcla de polímeros separados, sino un complejo cuyas propiedades son diferentes de las propiedades individuales de cualquiera de estos polímeros. Los ejemplos incluyen PHPA (Poliacrilamida parcialmente hidrolizada) y copolímeros acrilatos.

**Corrosión** La alteración química adversa en un metal o la “erosión” del metal causada por el aire, la humedad o productos químicos; en general se forma un óxido.

**Corte (Esfuerzo de Corte)** Una acción, resultante de las fuerzas aplicadas, que causado tiende a causar el deslizamiento entre dos partes contiguas de un cuerpo, en una dirección paralela a su plano de contacto.

**Corte por Aire** La incorporación mecánica y dispersión involuntaria de aire dentro de un sistema de fluido de perforación.

**Corte por Gas** Gas atrapado por un fluido de perforación.

**Daños a la Formación** Daños a la productividad de un pozo, causados por la invasión de partículas de lodo o filtrados de lodo dentro de la formación. El asfalto del crudo también puede causar daños a ciertas formaciones.

**Darcy** Una unidad de permeabilidad. Un medio poroso tiene una permeabilidad de 1 darcy, cuando la presión de 1 átomo sobre una muestra de 1 cm de largo y 1 cm<sup>2</sup> de sección transversal, fuerza un líquido con una viscosidad de 1 cP a través de la muestra a la velocidad de 1 cm<sup>3</sup> por segundo.

**Densidad** Materia medida como masa por volumen unitario, expresado en libras por galón (lb/gal), kilogramos por litro (kg/l) y libras por pie cúbico (lb/ft<sup>3</sup>). Muchas veces se usa “peso” para hacer referencia a la densidad.

**Densidad Equivalente de Circulación(ECD)** Para un fluido en circulación, la densidad equivalente de circulación en lb/gales igual al cabezal hidrostático (psi) más la caída total de presión anular (psi) dividida por la profundidad (pies) y por 0,052.

**Derrumbe** Una forma grave de desprendimiento.

**Derrumbe por presión** El colapso parcial o completo de las paredes de un pozo como resultado de las presiones internas, debido principalmente al hinchamiento causado por la hidratación o las presiones de gas de la formación.

**Desarenador, Deslimador** Aparato de remoción de sólidos basado en el hidro ciclón, para separar la arena o el limo del lodo.

**Desespumante** Cualquier sustancia usada para reducir o eliminar la espuma mediante la reducción de la tensión superficial.

**Defloculación** Disolución de los flóculos de las estructuras de gel mediante el uso de un diluyente.

**Deshidratación** Remoción del agua libre o combinada de un compuesto.

**Desprendimiento** El colapso parcial o completo de las paredes de un pozo, como resultado de formaciones incompetentes y no consolidadas; ángulo o pendiente alta; y humectación a lo largo de los planos internos de estratificación.

**Diluyente** Cualquiera de varios agentes orgánicos (taninas, ligninas, lignosulfonatos, etc.) y agentes inorgánicos (pirofosfatos, tetrafosfatos, etc.) que son agregados a un fluido de perforación para reducir la viscosidad y/o las propiedades tixotrópicas.

**Diluyente** Líquido añadido para diluir o reducir la densidad de una solución.

**Dinámico** Actividad o movimiento; contrario de estático.

**Dispersante** Cualquier producto químico que estimula la dispersión de la fase dispersa.

**Distribución de Partículas** Una lista de todas las partículas de una muestra en base al tamaño. Generalmente reportada como porcentaje de la población total o porcentaje en volumen según el rango de tamaños micrométricos.

**Electrolito** Una sustancia que se desasocia en iones de cargas positivas y negativas cuando está en solución o en un estado fundido, y luego conduce una corriente eléctrica. Los ácidos, las bases y las sales son electrolitos comunes.

**Emulsificante o Agente Emulsificante** Una sustancia usada para producir una emulsión de dos líquidos que no son miscibles. Los emulsificantes se pueden dividir, según su comportamiento, en agentes iónicos y no iónicos. Los tipos iónicos también se pueden dividir en tipos aniónicos, catiónicos y anfóteros, según la naturaleza de los grupos iónicos activos.

**Emulsión** Una mezcla líquida heterogénea, sustancialmente permanente, de dos o más líquidos que normalmente no se disuelven uno en otro, pero que son mantenidos en suspensión o dispersión, uno en otro, por agitación mecánica, o más frecuentemente, mediante la adición de pequeñas cantidades de sustancias llamadas emulsificantes. Las emulsiones pueden ser mecánicas, químicas o una combinación de ambas. Los tipos de emulsión son aceite en agua o agua en aceite.

**Emulsión de Aceite en Agua** Un fluido de perforación en el cual el contenido de aceite suele ser mantenido entre 3 y 7%, y raramente a más de 10% (puede ser considerablemente más alto). El aceite es emulsionado en agua dulce o agua salada por un emulsificante químico. A veces se puede añadir CMC, almidón o goma a los sistemas de agua dulce y agua salada.

**Enlace** Interconectar químicamente una sustancia a otra, tal como en enlazado de un revestimiento.

**Esfuerzo de Gel** La capacidad o medida de la capacidad de un coloide para formar geles. El esfuerzo de gel es una unidad de presión reportada generalmente en lb/100 pies<sup>2</sup>. Constituye una medida de las mismas fuerzas entre partículas de un fluido que las que son determinadas por el punto cedente, excepto que el esfuerzo de gel se mide bajo condiciones estáticas, mientras que el punto cedente se mide en condiciones dinámicas. Las medidas comunes de esfuerzo de gel son los geles iniciales y los geles a 10 minutos.

**Espacio Anular** El espacio entre la columna de perforación y la pared del pozo o de la tubería de revestimiento.

**Espesor del Revoque** La medida del espesor del revoque depositado por un fluido de perforación contra un medio poroso, generalmente de acuerdo con la prueba de filtración API estándar. El espesor del revoque se reporta generalmente en 1/32 de pulgada.

**Espuma** Un sistema de dos fases similar a una emulsión, donde la fase dispersa es un gas o el aire.

**Fase Continua** La fase fluida que rodea completamente la fase dispersa que puede constar de coloides, aceite, etc.

**Fase Dispersa** La fase esparcida (sólido, líquido o gas) de una dispersión. Las partículas están finamente divididas y completamente rodeadas por la fase continua.

**Filtración** El proceso de separación de sólidos suspendidos de su líquido, forzando el líquido a través de un medio poroso. Dos tipos de filtración de fluido ocurren en un

pozo: filtración dinámica durante la circulación y filtración estática cuando el fluido no está circulando.

**Filtrado** El líquido forzado a través de un medio poroso durante el proceso de filtración.

**Filtro** Un dispositivo que usa un tipo de revestimiento para separar los sólidos de un líquido. Los sólidos se depositan en la superficie y cerca de la superficie del revestimiento del dispositivo. El revestimiento puede constar de tierra diatomácea, tela, papel u otras sustancias.

**Floculación** Asociación incoherente de partículas en grupos ligeramente enlazados, asociación no paralela de laminillas de arcilla. En suspensiones concentradas, como los fluidos de perforación, la floculación produce gelificación. En algunos fluidos de perforación, después de la floculación puede producirse una precipitación irreversible de coloides y otras sustancias del fluido.

**Flóculos** Grupos de agregados o partículas en suspensión que pueden romperse al ser sometidos a trepidación y agitación normal, y que vuelven a formarse cuando están en reposo.

**Fluido** Una sustancia que adopta fácilmente la forma del recipiente en el que se coloca. El término incluye líquidos y gases. Se trata de una sustancia en la que la aplicación de cada sistema de esfuerzos (excepto la presión hidrostática) producirá una deformación continuamente creciente, sin relación alguna entre el régimen de deformación en cualquier instante y la magnitud de los esfuerzos en ese instante. Los fluidos de perforación son generalmente fluidos newtonianos y plásticos, pocas veces pseudoplásticos y raramente dilatantes.

**Fluido Newtoniano** Los fluidos básicos y más simples, desde el punto de vista de la viscosidad, en los cuales el esfuerzo de corte es directamente proporcional a la velocidad de corte. Estos fluidos comenzarán a moverse inmediatamente cuando se aplica una presión o fuerza mayor que cero. Los ejemplos de fluidos newtonianos incluyen el agua, el aceite diesel y la glicerina. El punto cedente determinado por un viscosímetro de indicación directa es cero.

**Fluido Seudoplástico** Un fluido complejo no newtoniano que no tiene propiedades tixotrópicas. Una presión o fuerza mayor de cero iniciará el flujo del fluido. La viscosidad aparente o consistencia disminuye instantáneamente cuando la velocidad de corte aumenta, hasta llegar a un punto determinado en el que la viscosidad se mantiene constante. El punto cedente determinado por el viscosímetro de indicación directa es positivo, igual que en los fluidos plásticos de Bingham; sin embargo, el punto cedente verdadero es cero. Un ejemplo de fluidoseudoplástico es la goma en agua dulce o agua salada.

**Flujo del Fluido** El estado de la dinámica de los fluidos para un fluido en movimiento es determinado por el tipo de fluido (por ej., newtoniano, plástico,seudoplástico, dilatante), las propiedades del fluido tales como la viscosidad y la densidad, la geometría del sistema, y la velocidad. Por lo tanto, bajo determinadas condiciones y propiedades del fluido, el flujo del fluido puede ser descrito como flujo tapón, flujo laminar (también llamado newtoniano, ordenado, paralelo o viscoso) o flujo turbulento.

**Funciones de los Fluidos de Perforación** La función más importante de los fluidos de perforación en la perforación rotatoria es transportar los recortes desde el fondo del pozo hasta la superficie. Algunas otras funciones importantes incluyen: controlarlas

presiones subsuperficiales, enfriar y lubricar la barrena y la columna de perforación, depositar un revoque impermeable, etc.

**Gel** Un estado de una suspensión coloidal en el que los esfuerzos de corte inferiores a un valor finito no pueden producir ninguna deformación permanente. El esfuerzo de corte mínimo que producirá una deformación permanente se conoce como resistencia al corte o esfuerzo de gel del gel considerado. Los geles suelen ocurrir cuando las partículas coloidales dispersas tienen una gran afinidad con el medio dispersante, i.e., son liofílicos. Por lo tanto, los geles ocurren generalmente con bentonita en agua.

**Gelificación** Asociación de partículas para formar una estructura continua.

**Gelificado** Jerga del campo petrolífero que se refiere generalmente a cualquier fluido con un esfuerzo de gel alto y/o propiedades muy viscosas. Frecuentemente, un estado de floculación grave.

**Goma** Cualesquier polisacáridos hidrofílicos de plantas o sus derivados, que al dispersarse en agua, se hinchan para formar una dispersión o solución viscosa. A diferencia de las resinas, las gomas son solubles en agua e insolubles en alcohol.

**Gravedad API** La gravedad (peso por volumen unitario) del crudo u otros fluidos relacionados, medida con un sistema recomendado por el Instituto Americano del Petróleo (API). Se puede relacionar con la Gravedad Específica (SG).

**Gravedad, Específica (SG)** El peso de un volumen determinado de cualquier sustancia comparado con el peso de un volumen igual de agua a la temperatura de referencia. Para los gases, se suele usar el aire como sustancia de referencia.

**Gumbo** Cualquier formación relativamente pegajosa, tal como las arcillas encontradas durante la perforación.

**Hidratación** El acto por el cual una sustancia adquiere agua por absorción y/o adsorción.

**Ingeniero, de Lodos o Fluidos de Perforación** Persona versada en fluidos de perforación, cuyas responsabilidades son gerenciar, poner en aplicación y mantenerlos diferentes tipos de programas de lodo del pozo de petróleo.

**Inhibidor (Lodo)** Las sustancias generalmente consideradas como contaminantes del lodo de perforación, como la sal y el sulfato de calcio, son llamadas inhibidores cuando se agregan deliberadamente al lodo para que el filtrado del fluido de perforación pueda prevenir o retardar la hidratación de las arcillas y lutitas de la formación.

**Ion** Los ácidos, las bases y las sales (electrolitos), cuando están disueltos en ciertos solventes, especialmente en agua, se desasocian más o menos en iones o partes de moléculas con cargas eléctricas, debido a la pérdida o captación de uno o varios electrones. La pérdida de electrones resulta en cargas positivas que producen un catión. La captación de electrones resulta en la formación de un anión con cargas negativas. La valencia de un ion es igual al número de cargas que contiene.

**Lignosulfonatos** Aditivos orgánicos de fluido de perforación, derivados de los productos secundarios del proceso de fabricación de papel de sulfito con maderas de coníferos. Algunas de las sales comunes, como el ferrocromo, cromo, calcio y sodio, son usadas como dispersantes universales, mientras que otras son usadas selectivamente para sistemas tratados con calcio. En grandes cantidades, las sales de ferrocromo y cromo son usadas para control de filtrado e inhibición de lutitas.

**Limo** Materiales que no presentan casi ningún hinchamiento, cuyo tamaño de partícula está generalmente comprendido entre 2micrones y el tamaño de arena API, o

74micrones (malla 200). Una porción determinada de arcillas dispersas y barita también están comprendidas en este rango de tamaños de partícula.

**Limpieza con Chorro** El proceso que consiste en eliminar periódicamente una porción o la totalidad del agua, lodo y/o sólidos de los tanques, generalmente mediante el bombeo a través de un conjunto de tobera de chorro.

**Lodo** Un fluido de perforación base agua o aceite cuyas propiedades han sido modificadas por sólidos – comerciales y/o nativos, disueltos y/o suspendidos. Se usa para hacer circular los recortes fuera del pozo y cumplir otras funciones durante la perforación de un pozo. Lodo es el término que se suele atribuir con mayor frecuencia a los fluidos de perforación.

**Lodo Base Agua** Fluidos de perforación convencionales comunes. El agua es el medio de suspensión para los sólidos y constituye la fase continua, independientemente de que el fluido contenga o no aceite.

**Lodo de Emulsión de Aceite en Agua** Comúnmente llamado “lodo de emulsión”. Cualquier lodo base agua convencional o especial al cual se ha agregado aceite. El aceite constituye la fase dispersa y puede ser emulsionado en el lodo mecánica o químicamente.

**Lodo de Emulsión Inversa de Aceite** Una emulsión inversa es una emulsión de agua en aceite en la que el agua dulce o agua salada constituye la fase dispersa y el aceite diesel, crudo u otro aceite constituye la fase continua. El agua aumenta la viscosidad y el aceite reduce la viscosidad.

**Lodo de Perforación Inicial** El fluido usado cuando la perforación comienza en la superficie, generalmente una lechada espesa de bentonita-cal.

**Lodo de pH Alto** Un fluido de perforación con un pH superior a 10,5. Un lodo de alta alcalinidad.

**Lodo de Referencia** Un fluido de perforación que tiene propiedades para producir muestras adecuadas.

**Lodo o Fluido de Perforación** Un fluido en circulación que se usa en la perforación rotatoria para cumplir cualquiera o todas las funciones requeridas en la operación de perforación.

**Lodos de Bajo Contenido de Sólidos** Una designación atribuida a cualquier tipo de lodo en el cual aditivos de alto rendimiento, por ej., CMC, han sido agregados para reemplazar parcial o totalmente las arcillas comerciales o naturales. Para viscosidades y densidades comparables (densificado con barita), un lodo de bajo contenido de sólidos tendrá un porcentaje en volumen de sólidos más bajo.

**Lutita** Roca arcillosa de grano fino con unclivaje de tipo pizarra, a veces conteniendouna sustancia orgánica petrolífera.

**Malla** Una medida de la finura de un material tejido, entramado o tamiz; por ej., un tamiz de malla 200 tiene 200 aberturas por pulgada lineal. Un entramado de malla 200 con un diámetro de alambre de 0,0021 pulg. (0,0533 mm) tiene una abertura de 0,074 mm o dejará pasar una partícula de 74 micrones.

**Material Densificante** Cualquiera de los materiales de alta gravedad específica usados para aumentar la densidad de los fluidos de perforación. Este material es generalmente barita, pero puede ser hematita, etc. En aplicaciones especiales, la caliza también puede ser considerada como un material densificante.

**Matriz** El patrón de los granos en una roca o formación.

**Mecanismos** La manera en que algo ocurre. En nuestra industria, nos referimos generalmente a los mecanismos de cambio de la formación, la manera en que una zona productora de petróleo se daña.

**Menisco** La superficie superior curvada de una columna de líquido, cóncava cuando las paredes que confinan la columna de lodo son humectadas por el líquido, y convexa cuando no lo son.

**Mesh** Cantidad e aberturas en una pulgada lineal en la malla.

**Micrón ( $\mu$ )** Una unidad de longitud igual a una millonésima parte de un metro o una milésima parte de un milímetro.

**Mililitro (ml)** Una unidad del sistema métrico para medir el volumen. Literalmente, 1/1.000 de un litro. En el análisis del lodo de perforación, este término se usa de manera intercambiable con el centímetro cúbico (cm<sup>3</sup>). Un cuarto de galón equivale más o menos a 946 ml.

**Molécula** Una molécula es formada por la combinación de átomos. En el caso de un elemento o compuesto, una molécula es la unidad más pequeña que retiene químicamente las propiedades de la sustancia en la masa.

**Montmorilonita** Una arcilla mineral comúnmente usada como aditivo en los lodos de perforación. La montmorilonita de sodio es el componente principal de la bentonita. La estructura de la montmorilonita está caracterizada por una forma que consiste en una hoja fina de tipo laminar con una anchura y amplitud indefinida, y un espesor igual al de la molécula. El espesor unitario de la molécula se compone de tres capas. Iones se adhieren a la superficie, pudiendo ser reemplazados. La montmorilonita de calcio es el componente principal de las arcillas de bajo rendimiento.

**Muestras** Recortes extraídos del fluido de perforación cuando sale del pozo, para obtener información geológica. Los recortes son lavados, secados y marcados con la profundidad.

**Papel Filtro** Papel poroso sin apresto para filtrar líquidos. La prueba de filtración API especifica un papel filtro Whatman N° 50,S & S N° 576 o equivalente, de 9 cm de espesor.

**Partes por Millón (ppm)** Peso unitario de soluto por millón de pesos unitarios de solución (soluto más solvente),correspondiente al porcentaje en peso, excepto que la base es millón en vez de cien. Los resultados de las valoraciones API estándar de cloruro, dureza, etc., se expresan correctamente en miligramos(mg) de incógnita por litro, pero no en ppm. A concentraciones bajas, mg/l es numéricamente igual a ppm. Se debe realizar una corrección para la gravedad específica o densidad de la solución, de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{ppm} &= \frac{\text{mg/l}}{\text{dens. sol., g/ml}} \\ \% \text{ en peso} &= \frac{\text{mg/l}}{(10.000)(\text{dens. sol., g/ml})} \\ &= \frac{\text{ppm}}{10.000} \end{aligned}$$

Por lo tanto, 316.000 mg/l de sal suele ser designado por 316.000 ppm o 31,6%, los cuales, para ser correctos, deberían ser 264.000 ppm y 26,4%, respectivamente.

**Partícula** Una unidad muy pequeña de materia, generalmente un solo cristal o un elemento de forma regular cuya gravedad específica se aproxima a la de un solo cristal.

**Pegadura (en la Pared) por Presión Diferencial** Pegadura que ocurre porque una parte de la columna de perforación(generalmente los porta mechas) está embutida en el revoque, resultando en una distribución no uniforme de la presión alrededor de la

circunferencia de la tubería. Las condiciones esenciales para la pegadura requieren una formación permeable y una presión diferencial.

**Penetración, Velocidad de (ROP)** La velocidad en pies por hora, a la cual la barrena avanza para profundizar el pozo.

**Pérdida de Presión** La pérdida de presión en un conducto o espacio anular, debido a la velocidad del líquido en el conducto, las propiedades del fluido, la condición de la pared de la tubería y la alineación de la tubería. En ciertos sistemas de mezcla de lodo, la pérdida de cabezal hidrostático puede ser considerable.

**Peso** En la terminología de los lodos, esto se refiere a la densidad de un fluido de perforación. Se expresa normalmente en lb/gal, lb/pies<sup>3</sup> o kg/l.

**Peso Atómico** El peso relativo de un átomo de un elemento, comparado con el peso de un átomo de carbono, usando 12 como peso de un átomo de carbono.

**Peso Molecular** La suma de los pesos atómicos de todos los átomos que constituyen la molécula de un elemento o compuesto.

**pH** Abreviatura de ion hidrógeno potencial. Los números de pH varían de 0 a 14, 7 siendo neutro, y constituyen índices de la acidez (menos de 7) o alcalinidad (más de 7) del fluido. El pH de una solución ofrece información valiosa sobre la acidez o alcalinidad inmediata, comparada con la acidez o alcalinidad total (la cual puede ser valorada).

**Plasticidad** La propiedad que poseen algunos sólidos, especialmente arcillas y lechadas de arcillas, para cambiar de forma o fluir bajo un esfuerzo aplicado, sin desarrollar planos de corte o fracturas. Estos cuerpos tienen puntos cedentes, y se debe aplicar un esfuerzo antes de que el movimiento pueda comenzar. A partir del punto cedente, la cantidad de movimiento comienza. A partir del punto cedente, la cantidad de

movimiento es proporcional al esfuerzo aplicado, pero cesa cuando se elimina el esfuerzo.

**Polímero** Una sustancia formada por la unión de dos o más moléculas del mismo tipo, ligadas de extremo a extremo dentro de un compuesto que tiene los mismos elementos en la misma proporción, pero un peso molecular más alto y diferentes propiedades físicas.

**Porcentaje** Para porcentaje en peso, ver ppm. El porcentaje en volumen es el número de partes volumétricas de cualquier componente líquido o sólido por 100 partes volumétricas iguales del todo. El porcentaje en volumen es el método más común para reportar los contenidos de sólidos, aceite y agua de los fluidos de perforación.

**Precipitado** Material que se separa de la solución o lechada como sólido. La precipitación de sólidos en un fluido de perforación puede ocurrir después de la floculación o coagulación, tal como las capas rojas de arcillas dispersas que se forman cuando se agrega un agente de floculación al fluido, o la precipitación química al eliminar el calcio como carbonato de calcio mediante la adición de bicarbonato o carbonato de sodio.

**Productos Químicos** En la terminología de fluidos de perforación, un producto químico es cualquier material que produce cambios en la viscosidad, el punto cedente, el esfuerzo de gel y el filtrado, así como la tensión superficial.

**Profundidad Total (TD)** La mayor profundidad alcanzada por la barrena.

**Punto Cedente** En la terminología de los fluidos de perforación, el punto cedente significa el valor de cadencia. De los dos términos, punto cedente es la expresión más usada.

**Punto de Anilina** La temperatura más baja a la cual volúmenes iguales de anilina recién diluida y un aceite que se está probando son completamente miscibles. Esta prueba proporciona una indicación del carácter (parafínico, nafténico, asfáltico, aromático, continente medio, etc.) del aceite. El punto de anilina de los aceites diesel o crudos usados en el lodo de perforación también constituye una indicación del efecto deteriorante que estos materiales pueden tener sobre el caucho natural o sintético. Cuanto más bajo sea el punto de anilina de un aceite, más graves serán los daños causados por este aceite a las piezas de caucho.

**Recortes** Pequeños fragmentos de formación que resultan de la acción desbastadora, raspante y/o triturante de la barrena.

**Registro de Lodo** Un método para determinar la presencia o ausencia de petróleo o gas en las diferentes formaciones penetradas por la barrena. El fluido de perforación y los recortes son continuamente sometidos a pruebas al regresar a la superficie, y los resultados de estas pruebas son correlacionados con la profundidad de origen.

**Rendimiento** Un término usado para definir la calidad de una arcilla, describiendo el número de barriles de una lechada de viscosidad determinada (centipoise) que pueden ser preparados con una tonelada de arcilla. En base al rendimiento, las arcillas se clasifican como tipos de arcillas bentonita, de alto rendimiento, bajo rendimiento, etc. Este término no está relacionado con el valor de cedencia descrito a continuación.

**Reología** La ciencia que trata de la deformación y del flujo del agua.

**Resistencia al Corte** Una medida del valor de corte del fluido. El esfuerzo de corte mínimo que producirá una deformación permanente.

**Resistividad** La resistencia eléctrica al paso de una corriente, expresada en ohmiosmetro; recíproco de la conductividad. Los lodos de agua dulce están generalmente

caracterizados por una resistividad alta, mientras que los lodos de agua salada tienen una resistividad baja.

**Sedimentos** Sólidos en una solución que se sedimentan o que se han sedimentado. Puede referirse al fondo de un frasco de muestra o a una formación geológica desarrollada o en desarrollo.

**Sólidos, Disueltos** Sólidos, generalmente sales en nuestra industria, pero el término no se limita a sales, que están disueltos en un fluido. Una salmuera contiene sales disueltas que fueron agregadas y otros sólidos disueltos como óxido de hierro, carbonato de calcio y sulfato, etc. El número de tipos potenciales de sales disueltas es ilimitado. La cantidad total de sales disueltas es limitada por el punto de cristalización.

**Sólidos, Suspendidos** Sólidos que no están disueltos y que pueden permanecer en suspensión en un fluido de perforación, rehabilitación o completación.

**Solubilidad** La medida en que una sustancia puede disolverse en un solvente determinado.

**Solución** Una mezcla de dos o más componentes que forman una fase única homogénea. Los ejemplos de soluciones incluyen sólidos disueltos en líquido, líquido en líquido, gas en líquido.

**Suspensión Coloidal** Partículas finamente divididas de tamaño ultramicroscópico que nadan en un líquido.

**Tamaño de Partícula** El diámetro de una partícula, suponiendo que sea esférica. (Aunque se supone que las partículas son esféricas, es raro que lo sean.) El tamaño se define generalmente en micrones.

**Tanque de Lodo** Instalaciones de tierra o metálicas de almacenamiento para el sistema de lodo de superficie. Los tanques de lodo que varían de volumen y número son de dos

tipos: circulación y reserva. Las pruebas y el acondicionamiento del lodo son generalmente realizados en el sistema de tanque de circulación.

**Tiempo de Ciclo, en el Pozo** El tiempo de un ciclo, o de descenso y retorno del pozo, es el tiempo requerido para que la bomba haga circular el fluido de perforación dentro del pozo. El ciclo en minutos es igual a barriles de lodo en el pozo, dividido por barriles por minuto.

**Tixotropía** La capacidad del fluido para desarrollar un esfuerzo de gel con el tiempo. La propiedad de un fluido que hace que éste desarrolle una estructura rígida o semirígida de gel cuando está en reposo, pero que puede volver a un estado fluido bajo agitación mecánica. Este cambio es reversible.

**Turno** El turno (periodo de servicio) de una persona en un programa ordenado.

**Valoración** Un método o proceso que consiste en usar una solución estándar para determinar la cantidad de una sustancia en otra solución. La solución conocida suele ser agregada en cantidades definidas a la solución incógnita hasta que se complete una reacción.

**Velocidad** Variación del movimiento con el tiempo en una dirección o sentido determinado. Se trata de una medida del flujo del fluido y se puede expresar en términos de velocidad lineal, velocidad de masa, velocidad volumétrica, etc. La velocidad es uno de los factores que contribuye a la capacidad de transporte de un fluido de perforación.

**Velocidad Anular** La velocidad de un fluido que se desplaza en el espacio anular.

**Viscómetro (Viscosímetro)** Un aparato para determinar la viscosidad de un fluido una suspensión. Los viscosímetros tienen diseños y métodos de prueba muy variables.

**Viscosidad** La resistencia interna de un fluido al flujo. Este fenómeno puede atribuirse a las atracciones entre las moléculas de un líquido, constituyendo una medida de los

efectos combinados de adhesión y cohesión, a los efectos de las partículas suspendidas y al ambiente líquido. Cuanto mayor sea esta resistencia, mayor será la viscosidad.

**Viscosidad Aparente** La viscosidad que un fluido parece tener en un instrumento determinado, a la velocidad de corte especificada. Está en función de la viscosidad plástica y del punto cedente. La viscosidad aparente en centipoises, tal como sea determinada por el viscosímetro de indicación directa, es igual a 1/2 de la indicación a 600 RPM. En un fluido newtoniano, la viscosidad aparente es numéricamente igual a la viscosidad plástica.

**Viscosidad Cinemática** La viscosidad cinemática de un fluido es la relación de viscosidad (por ej., cP en g/cm-seg) a densidad (por ej., g/cm<sup>3</sup>), usando unidades coherentes. Se usa frecuentemente para evaluar la viscosidad de los aceites.

**Viscosidad Plástica** La viscosidad plástica es una medida de la resistencia interna al flujo de fluido, atribuible a la cantidad, tipo y tamaño de los sólidos presentes en un fluido determinado. Se expresa como número de dinas por cm<sup>2</sup> de esfuerzo de corte tangencial en exceso del valor de cedencia de Bingham que provocará una cantidad unitaria de corte. Este valor, expresado en centipoises, es proporcional a la pendiente de la curva de consistencia determinada en la región de flujo laminar para materiales que obedecen a la Ley de Flujo Plástico de Bingham. Cuando se usa el viscosímetro de indicación directa, la viscosidad plástica puede ser determinada restando la indicación a 300 RPM de la indicación a 600 RPM.

**Viscosímetro de Marsh** Un instrumento usado para determinar la viscosidad Marsh. El viscosímetro de Marsh es un recipiente con un orificio fijo en la parte inferior, de manera que cuando se llena con 1.500 cm<sup>3</sup> de agua dulce, un volumen de 1 qt (946 ml)

sale en  $26 \pm 0,5$  seg. Para una descarga de  $1.000 \text{ cm}^3$ , el tiempo de descarga para el agua es  $27,5 \pm 0,5$  seg.

**Zona o Formación Productiva** La formación perforada que contiene cantidades comerciales de petróleo y/o gas.

# **ANEXOS**

**Anexo N° 1.**

**Ficha de datos de seguridad MSDS del Polímero Cifloc 1143**



*Technology ahead of its time™*

MSDS: 0007596  
Fecha: 10/02/2003

## FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

### 1. IDENTIFICACION DE LA SUSTANCIA/PREPARADO Y DE LA SOCIEDAD/EMPRESA

**Nombre del producto:** CYFLOC® 1143 Flocculant  
**Descripcion del Producto:** Poliacrilamida no iónica

CYTEC DE MEXICO S.A. DE C.V. KM. 40 CARRETERA GUADALAJARA-LA BARCA, ATEQUIZA, JALISCO, MEXICO C.P. 45860  
TELEFONO DE EMERGENCIA: EN MEXICO: 01 (376) 737-0004 FUERA DE MEXICO: (52) (376) 737-0004

® Indica Marca Registrada en E.U.A. Fuera de E.U.A., la marca puede estar registrada, pendiente o ser una Marca Registrada. La marca es o se puede utilizar bajo licencia.

### 2. COMPOSICION/INFORMACION SOBRE LOS COMPONENTES

#### INGREDIENTES PELIGROSOS

No hay componentes peligrosos

### 3. IDENTIFICACION DE LOS PELIGROS

**RIESGOS HUMANOS Y AMBIENTALES**  
ninguno

### 4. PRIMEROS AUXILIOS

#### Ingestión:

Llamar a un médico inmediatamente si se traga. Sólo inducir vómitos bajo dirección médica. Nunca debe administrarse nada por la boca a una persona inconsciente.

#### Contacto con la piel:

Lavarse inmediatamente con abundante agua y jabón.

#### Contacto con los ojos:

Enjuagar inmediatamente con abundancia de agua por lo menos durante 15 minutos.

#### Inhalación:

No se anticipa que el material sea lesivo por inhalación. Retirar la víctima al aire libre.

### 5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

#### MEDIOS DE EXTINCION

Utilizar agua, bióxido de carbono o un agente químico seco.

**EQUIPAMIENTO PROTECTOR**

Los bomberos y otras personas que pudieran estar expuestas deben usar aparatos respiratorios autónomos.

**PELIGROS ESPECIALES**

El polvo puede ser explosivo si se mezcla con el aire en proporciones críticas y en la presencia de una fuente de ignición.

---

**6. MEDIDAS QUE DEBEN TOMARSE EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL****Precauciones individuales:**

Refierase a la Sección 8 (Protección Personal/Controles de Exposición) para el Equipo de Protección Personal Apropriado

**Métodos de limpieza:**

Resbaladizo cuando estámojado. Barrer y colocarlo en recipientes para descarte. Enjuagar con agua el área del derrame. Si permanece resbaladizo, aplicar más compuesto para barrido en seco. Evitar que el líquido ingrese a desagües sanitarios.

---

**7. MANIPULACION Y ALMACENAMIENTO****Manipulación**

Mantener buena limpieza para controlar las acumulaciones de polvo.

**Almacenamiento**

El material es higroscópico y no deberá exponerse a la humedad objeto de mantener su integridad. Para evitar la degradación del producto y la corrosión del equipo, no utilizar contenedores ni equipo de hierro, cobre o aluminio.

**TEMPERATURA DE ALMACENAMIENTO:** Almacenar a 4 - 32 °C

**RAZON:** Integridad.

---

**8. CONTROLES DE EXPOSICION Y PROTECCION PERSONAL****PARAMETROS DE CONTROL - Límites**

No se han establecido valores

**Disposiciones de ingeniería:**

Generalmente no hacen falta controles de ingeniería si se siguen buenas prácticas de higiene.

**Protección respiratoria:**

No se recomienda ninguno.

**Protección de los ojos:**

Usar protección ocular/ facial.

**PROTECCION DE LA PIEL:**

Evitar contacto con la piel. Usar guantes impermeables.

**Consejos adicionales:**

Antes de comer, beber o fumar, lavarse la cara y las manos minuciosamente con jabón y agua.

---

**9. PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS**

**Color:**

blanco

**Aspecto:**

sólido

<b>Olor:</b>	inoloro
<b>Temperatura de ebullición/rango</b>	No aplicable
<b>Temperatura de fusión:</b>	>200 °C Se descompone pero no se funde
<b>Presión de vapor:</b>	No aplicable
<b>Gravedad Específicas:</b>	0.75 - 0.95(Densidad de volumen)
<b>Densidad de vapor:</b>	No aplicable
<b>% VOLATIL (Por peso):</b>	10 - 15(agua)
<b>pH:</b>	5 - 7(solución acuosa)
<b>Saturación en Aire (% en Vol.):</b>	No disponible
<b>Indice de evaporación:</b>	No aplicable
<b>SOLUBILIDAD EN EL AGUA:</b>	Limitado por la viscosidad
<b>Contenido orgánico volátil:</b>	No disponible
<b>Punto de inflamación:</b>	No aplicable
<b>LIMITES DE INFLAMABILIDAD (% Por Vol):</b>	No aplicable
<b>Temperatura de autoignición:</b>	>200 °C
<b>Temperatura de descomposición:</b>	>200 °C
<b>Coefficiente de reparto (n-octanol/agua):</b>	No disponible

## 10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

<b>Estabilidad:</b>	Estable
<b>Condiciones a evitar:</b>	No conocidos
<b>Polimerización:</b>	No ocurrirá
<b>Condiciones a evitar:</b>	No conocidos
<b>Materias a evitar:</b>	Agentes oxidantes fuertes.
<b>Productos de descomposición peligrosos:</b>	Monóxido de carbono dióxido de carbono amoniaco óxidos de nitrógeno

## 11. INFORMACION TOXICOLOGICA

**Efectos potenciales sobre la salud**  
ninguno

### SUSTANCIA/PREPARADO

#### Toxicidad aguda

Oral	rata	DL50 Aguda	>5000 mg/kg
dermal	conejo	DL50 Aguda	>2000 mg/kg
Inhalación	rata	CL50 Aguda 4 hr	>20.0 mg/l

#### EFFECTOS LOCALES EN PIEL Y OJOS

Irritación Aguda	dermal	No irritante
Irritación Aguda	ojo	No irritante

#### SENSITIZACION ALERGICA

Sensibilización

dermal

No sensibilizante

Sensibilización

Inhalación

No sensibilizante

## GENOTOXICIDAD

### Ensayos para Mutaciones Genéticas

Prueba Salmonella Ensayo

No hay datos

## DATOS SOBRE LA TOXICIDAD DE LOS INGREDIENTES PELIGROSOS

No hay componentes peligrosos

---

## 12. INFORMACIONES ECOLOGICAS

Este material no se clasifica como peligroso para el ambiente.

Toda la información ecológica provista se realizó en un producto estructuralmente similar.

La toxicidad aguda prueba conducido usando ambientalmente el agua representativa dio los resultados siguientes:

### RESULTADOS DE PRUEBAS EN ALGAS

**Test:** Inhibición de Crecimiento (OECD 201)**Duración:** 72 hr**Especie:** Alga verde (*Selenastrum capricornutum*)

&gt;100 mg/l

IC50

Como Fracción Acomodada de Agua.

&gt;460 mg/l

ErC50

Como Fracción Acomodada de Agua

### RESULTADOS DE PRUEBA EN PECES

**Test:** Toxicidad aguda, agua dulce (OECD203)**Duración:** 96 hr.**Especie:** Pez sol azulado (*Lepomis macrochirus*)

&gt;1000 mg/l

LC50

**Prueba:** Toxicidad aguda, agua dulce (OECD203)**Duración:** 96 hr**Especie:** Trucha Arco Iris (*Oncorhynchus mykiss*)

&gt;750 mg/l

LC50

**Prueba:** Toxicidad aguda, agua dulce (OECD203)**Duración:** 96hr**Especie:** Gobio Cabezón (*Pimephales promelas*)

&gt;1000 mg/l

LC50

### RESULTADOS DE PRUEBAS EN INVERTEBRADOS

**Test:** Inmovilización Aguda (OECD 202)**Duración:** 48 hr**Especie:** Mosca de Agua (*Daphnia magna*)

&gt;1000 mg/l

EC50

Como Fracción Acomodada de Agua

**Prueba:** Inmovilización Aguda (OECD 202)

**Duración:** 48 hr

**Especie:** Mosca de Agua (Ceriodaphnia dubia)  
600 mg/l EC50

## DEGRADACION

**Test:** Evolución de CO<sub>2</sub>: Sturm Modificada (OECD 301 B)

**Duración:** 28 días **Procedimiento:** Biodegradabilidad lista  
<70 %

Este material no es fácilmente biodegradable (la OCDE 301B). La talla grande del polímero es incompatible con transporte a través de las membranas biológicas y de la difusión; el factor de la bioconcentración por lo tanto se considera ser cero.

**Prueba:** Demanda Química de Oxígeno

**Procedimiento:** Otra

0.70 mg O<sub>2</sub>  
mg/producto

---

## 13. CONSIDERACIONES SOBRE LA ELIMINACION

CYTEC está a favor del reciclado, recuperación y reuso de materiales siempre que sea posible. Si es necesario disponer algún material, CYTEC recomienda que los materiales orgánicos, especialmente cuando estos estén clasificados como residuos peligrosos sean destruidos por tratamiento térmico ó incineración en plantas autorizadas. Deben observarse todas las reglamentaciones locales y nacionales.

---

## 14. INFORMACION RELATIVA AL TRANSPORTE

Esta sección proporciona la información de clasificación de envío básica. Refiérase a las regulaciones de transporte apropiadas para los requisitos específicos.

### SCT/IMO

Denominación adecuada de envío: NO ES APLICABLE/NO ESTA REGULADO

### ICAO / IATA

Denominación adecuada de envío: NO ES APLICABLE/NO ESTA REGULADO

Instrucciones de Empaque/Máxima cantidad neta por paquete:

Avión de pasajeros: -

Avión de carga: -

---

## 15. INFORMACION REGLAMENTARIA

### MARCADO Y ROTULACION

**Símbolo(s):** Ninguno exigido

**FRASES DE RIESGO:**

ninguno

**FRASES DE SEGURIDAD:**

S82 - Los derrames son muy resbalozos cuando estan mojados.

**INFORMACION DE INVENTARIO**

**Australia:** Todos los componentes de este producto se incluyen en el inventario australiano de las sustancias químicas (AICS).

**Union(EU) Europeo:** Todos los componentes de este producto están incluidos en el "Inventario Europeo de Sustancias Químicas Existentes (EINECS por sus siglas en inglés), o no se a requerido que estén listadas en el EINECS.

**Estados Unidos (los E.E.U.U.):** Todos los componentes de este producto están incluidos en el Inventario Químico de la TSCA de E.U. o no se a requerido que estén listadas en el Inventario Químico de la TSCA.

**Canada:** Todos los componentes de este producto están incluidos en la "Lista de Sustancias Domésticas" de E.U. (DSL por sus siglas en inglés), o no se a requerido que estén listadas en la DSL.

**China:** Todos los componentes de este producto están incluidos en el inventario Chino de productos químicos o bien no es requerido que estén en éste listado.

**Japón:** Todos los componentes de este producto están incluidos en el inventario Japonés de productos químicos (ENCS) o bien no es requerido que estén en éste listado.

**Corea:** Todos los componentes de este producto están incluidos en el inventario Coreano de productos químicos (ECL) o bien no es requerido que estén en éste listado.

**Filipinas:** Todos los componentes de este producto están incluidos en el inventario Filipino de productos químicos (PICCS) o bien no es requerido que estén en éste listado.

---

**16. OTRAS INFORMACIONES****Clasificación**

**Inflamabilidad 1** - Sustancias que deben ser precalentadas antes de que ocurra la ignición requieren un precalentamiento considerable bajo todas las condiciones de temperatura ambiente, antes de que ocurra la ignición y combustión.

**Salud:** 0 - Mínimamente peligroso. No significa un riesgo para la salud.

**Reactividad:** 0 - Sustancias que por sí mismas son estables normalmente, aun bajo condiciones de fuego.

**RAZON DE LA EMISION:** Formato nuevo

---

Randy Deskin, Ph.D., DABT +1-973-357-3100

---

Esta información es dada sin garantía o representación alguna. No asumimos ninguna responsabilidad legal por la misma, ni tampoco damos permiso, inducimiento, o recomendación alguna para practicar cualquier invento patentado sin una licencia. Esta información le es proporcionada solamente para su consideración, investigación, y verificación. Antes de usar cualquier producto, lea su etiqueta.

---

**Anexo N° 2.**

**Cadena de Custodia Muestra de Agua**



**Anexo N° 3.**  
**Reporte de Análisis**



**REPORTE DE ANÁLISIS**

ENSAYOS  
No. OAE LE 2C 05-008

**Cliente:** Tuboscope

Avenida Amazonas 3655 y Juan Pablo Sanz, Edificio Antisana 3er Piso Oficina 301. Teléfonos 2243-212

**Attn:** Dra. Mónica Jara

**Proyecto:** Análisis de aguas negras

**Muestra recibida:** 04-Ago-11

**Tipo de muestra:** 1 muestra de agua

**Análisis completado:** 08-Ago-11

**Número de reporte Grüntec:** 110831 NG

Rotulación muestra	Base Coca	Valor límite permisible Tabla 5 RAOHE	Método Adaptado de Referencia
<b>Fecha de muestreo</b>	<b>04-Ago-11</b>		

<b>Físico-químico:</b>			
pH <sup>(1, 2, 3)</sup>	8.0	5 < pH < 9	SM 4500 H
Cloro residual mg/L <sup>(1, 3)</sup>	1.9	< 2	EPA 330.5

<b>Parámetros orgánicos:</b>			
DQO mg/L <sup>(1, 2, 3)</sup>	72	< 80	SM 5220 D
Coliformes fecales NMP/100 mL <sup>(1, 3)</sup>	< 30	< 1000	SM 9223 B

**Acreditaciones y Registros**

(1) Acreditación No. OAE LE 2C 05-008

(2) Acreditación CALA No. A3154

(3) Registro DMA No. LEA-R-005

**INCERTIDUMBRE (u):**

pH = 0.2 ; Cloro residual = 0.23; Coliformes totales y fecales = Uglobal = 0.37

DQO = Rango Bajo: 5-6 mg/L = 0.27, 7-10 mg/L = 0.18, 10-150 mg/L = 0.14, Rango Alto: >150 mg/L = 0.11;

Cálculo:  $U = C \pm U \times C$  en donde: C=valor medido; U= incertidumbre.

Ing. Santiago Cadena  
Gerente de Operaciones

**Nota 1:** Estos análisis, opiniones y/o interpretaciones están basados en el material e información provistos por el cliente para quien se ha realizado este informe en forma exclusiva y confidencial.

**Nota 2:** La toma de muestra fue realizada directamente por el cliente.