

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**DESARROLLO DE UN SISTEMA MECÁNICO PARA EQUIPOS  
DE SUPERFICIE NECESARIOS PARA EL PROCESO DE  
INYECCIÓN SOMERA (DEGRINS™)**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por los Brs. Carvajal P. Nelson J.  
Colina H. Edixon J.  
Para optar al Título de  
Ingeniero Mecánico.

Caracas, 2008

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**DESARROLLO DE UN SISTEMA MECÁNICO PARA EQUIPOS  
DE SUPERFICIE NECESARIOS PARA EL PROCESO DE  
INYECCIÓN SOMERA (DEGRINS™)**

TUTOR ACADÉMICO: Prof. José F. De Aguiar.

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por los Brs. Carvajal P. Nelson J.  
Colina H. Edixon J.  
Para optar al Título de  
Ingeniero Mecánico.

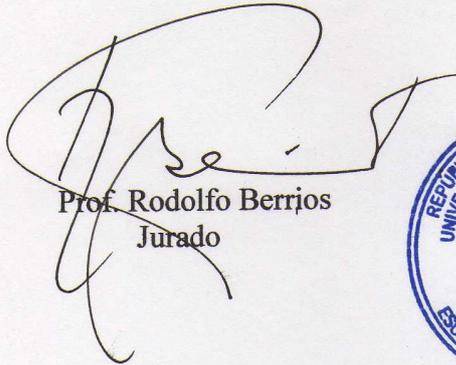
Caracas, 2008

Caracas, Junio de 2008.

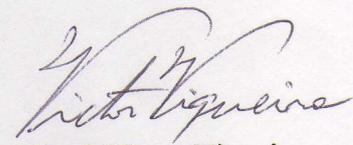
Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Mecánica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por los bachilleres Carvajal P. Nelson J. y Colina H. Edixon J., titulado:

**“Desarrollo de un sistema mecánico para equipos de superficie necesarios para el proceso de Inyección Somera (DEGRINS™)”**

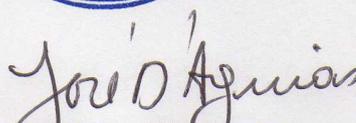
Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Mecánico, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por los autores:



Prof. Rodolfo Berrjos  
Jurado



Prof. Víctor Viqueira  
Jurado



Prof. José De Aguiar  
Tutor Académico

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por llevarnos siempre de la mano por los caminos correctos.

A nuestra casa de estudios la Universidad Central de Venezuela por su excelente formación.

A nuestros padres, hermanos y demás familiares por hacer de nosotros quienes somos hoy en día.

A nuestro tutor académico José De Aguiar por su asesoramiento y apoyo en la realización de este trabajo de investigación.

**Carvajal P., Nelson J. y Colina H., Edixon J.**

**DESARROLLO DE UN SISTEMA MECÁNICO PARA EQUIPOS DE SUPERFICIE NECESARIOS PARA EL PROCESO DE INYECCIÓN SOMERA (DEGRINS™)**

**Tutor Académico: Prof. De Aguiar D., José F. Tesis. Caracas. U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica. 2008. 161 pág.**

Palabras Clave: Inyección Somera, ripios, microencapsulamiento, zarandas, bulbo.

En el siguiente trabajo se realizó la selección y disposición de los equipos que mejor se adaptan a la Tecnología de Inyección Somera, determinando las capacidades necesarias que permitan trabajar de manera continua con los tiempos de la perforación petrolera, así como, un análisis de los tiempos de retención en cada una de las etapas, suponiendo diversos comportamientos tanto en el taladro como en los equipos para remoción de sólidos.

La tecnología de inyección somera consiste en tomar los ripios generados durante un proceso de perforación petrolera encontrados en las zarandas, equipos para manejo de sólidos, y transportarlos hasta unos mezcladores, en donde le serán agregados una serie de aditivos utilizando para ello dosificadores que permitan regular las proporciones necesarias dependiendo a la cantidad de material a tratar, así como también la respectiva formulación de acuerdo al tipo de lodo que se esté utilizando en la perforación. Durante la primera fase se generan unos gránulos, cada uno de los cuales crea a nivel nanométrico un encapsulamiento del material contaminante, ajustándolo de esta manera al marco del decreto 2635 que regula el manejo de los desechos sólidos peligrosos.

Posteriormente se lleva a cabo la segunda fase del proceso en donde es mezclado el producto de la etapa I (gránulos) con agua y cemento, esto con la finalidad de crear una mezcla que pueda ser manejada por la bomba de inyección y que este en capacidad de desplazar el suelo receptor sin afloramiento en la superficie, creando de esta manera un bulbo tanto física como químicamente estable en los estratos someros (< 50 m de profundidad), dicho bulbo al transcurrir el tiempo se solidifica y crea un segundo encapsulamiento dándole al ripio su disposición final.

## ÍNDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	2
OBJETIVOS GENERALES.	4
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	4
CAPITULO I. Reseña histórica.	5
1.1 Explotación petrolera.	5
1.2 Fluidos de perforación.	5
CAPITULO II. Conceptos fundamentales.	8
2.1 Técnicas de explotación petrolera.	8
2.2 Perforación rotatoria.	8
2.2.1 Equipos de remoción de sólidos.	9
2.3 Lodos de perforación.	10
2.4 Clasificación de los lodos de perforación	11
2.4.1 Lodos base agua	12
2.4.2 Lodos base aceite	12
2.4.2.1 Composición de los lodos base aceite o lodos de emulsión.	13
2.4.2.1.1 Agentes emulsivos.	13
2.4.2.1.2 Aceites usados.	13
2.4.2.1.3 Tipos de emulsiones.	13
2.4.3 Razones por las cuales usar lodos base aceite.	14

2.4.4 Comparación de los lodos base aceite con los lodos base agua.	14
2.5 Desafíos del medio ambiente.	15
2.5.1 Pruebas para la regulación de los fluidos de perforación.	16
2.6 Manejo de los desechos provenientes de las perforaciones petroleras.	16
2.6.1 Clasificación de las tecnologías de manejo de desechos de las perforaciones petroleras.	17
2.6.2 Tecnologías de tratamiento de los desechos de perforaciones petroleras.	19
2.6.2.1 Biotratamiento.	19
2.6.2.2 Incineración.	20
2.6.2.3 Desorción térmica.	21
2.6.2.4 Solidificación/estabilización (S/E).	22
2.6.3 Tecnologías de disposición final de los desechos de perforaciones petroleras.	23
2.6.3.1 Relleno de seguridad	23
2.6.3.2 Esparcimiento de suelos.	25
2.6.3.3 Inyección profunda.	25
CAPITULO III Antecedentes.	27
3.1 Introducción.	27
3.2 Fases del proceso y puesta en marcha de la tecnología de Inyección Somera.	28
3.2.1 Fase de laboratorio.	28
3.2.2 Pruebas industriales.	30

3.2.2.1 Inyección en áreas pantanosas de la Reserva Forestal de Guarapiche (Región Deltana del Orinoco).	30
3.2.2.2 Inyección en suelos arcillosos blandos en Caripito (Estado Monagas).	34
3.2.2.3 Inyección de mortero arena-cemento-arcilla en San Lorenzo (Estado Zulia).	37
3.2.2.4 Inyección de ripios del pozo somero en Lagunillas (Estado Zulia).	45
CAPITULO IV Marco metodológico.	47
4.1 Descripción del proceso de inyección somera y equipos necesarios.	47
4.2 Análisis del volumen de ripio generado en un proceso de perforación.	53
4.3 Selección del tipo de mezclador.	61
4.4 Selección del tipo de bomba.	64
4.5 Selección del tipo de transportador.	71
4.6 Selección del tipo de dosificador.	74
4.7 Análisis de las propuestas de equipos.	77
CAPITULO V Resultados y discusión.	90
5.1 Estudio de las capacidades de los mezcladores y bomba.	90
5.1.1 Análisis del escenario 1.	97
5.1.2 Análisis del escenario 2.	104
5.1.3 Análisis del escenario 3.	109
5.2. Estudio de las capacidades de los dosificadores y transportadores.	116
5.3 Equipos adicionales para llevar a cabo la tecnología DEGRINS™.	121

CONCLUSIONES	123
RECOMENDACIONES	125
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	126
Apéndice 1: Rango de profundidades de pozos en Venezuela	129
Apéndice 2: Perfiles geotécnicos en campos petroleros.	131
Apéndice 3: Tipos de mezcladores	132
Apéndice 4: Bombas de desplazamiento positivo.	137
Apéndice 5: Tipos de transportadores.	144
Apéndice 6: Tipos de tornillos transportadores.	150
Apéndice 7: Tipos de dosificadores	151
ANEXO 1: Desarrollo de la distribución de los equipos en planta.	155

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 3.1 Comportamiento en 5 años de monitoreo de parámetros fisicoquímicos y metales pesados en pozos monitores alrededor de puntos de inyección de ripios en turberas inundadas de Guanaco, Estado Sucre.	33
Tabla 3.2 Experiencia de inyección en suelos blandos arcillosos de Caripito, Estado Monagas.	34
Tabla 3.3 Contenido de metales pesados y algunos cationes en pozos de monitoreo de aguas en Caripito (mg/L).	37
Tabla 3.4 Experiencias de inyección somera en San Lorenzo.	39
Tabla 3.5 Metales pesados, grasas y aceites, hidrocarburos solubles totales (HC) y Rodamina en pozos monitores en pruebas de inyección de mortero bentonita-arena-cemento.	44
Tabla 3.6 Parámetros de calidad de agua en pozos monitores en la inyección de ripios del pozo LS-5545, Lagunillas Estado Zulia.	46
Tabla 4.1 Formulación de aditivos para lodos base agua.	50
Tabla 4.2 Formulación de aditivos para lodos base aceite.	51
Tabla 4.3 Formulación de aditivos por unidad de volumen para lodos base agua.	52
Tabla 4.4 Formulación de aditivos por unidad de volumen para lodos base aceite.	52
Tabla 4.5 Equipos necesarios para ejecutar la tecnología de Inyección Somera.	53
Tabla 4.6 Clasificación de los pozos dependiendo de la profundidad.	55
Tabla 4.7. Resumen de datos (Análisis de Volumen de Ripios).	56
Tabla 4.8. Tiempos del taladro por perforación.	57
Tabla 4.9. Tiempo total de trabajo del taladro.	57

Tabla 4.10 Factores de esponjamiento para diversos tipos de suelo	58
Tabla 4.11 Volumen de ripio obtenido por perforación.	59
Tabla 4.12 Volumen total de ripio.	60
Tabla 4.13 Tasas de generación de ripios.	60
Tabla 4.14 Valores de relevancia	63
Tabla 4.15 Matriz morfológica selección de mezclador.	64
Tabla 4.16 Matriz morfológica selección de bomba.	69
Tabla 4.17 Matriz morfológica selección de transportadores.	73
Tabla 4.18 Matriz morfológica selección de dosificadores.	77
Tabla 5.1 Variables y aspectos tomados en cuenta para la determinación de las capacidades requeridas de los equipos.	91
Tabla 5.2 Tiempos establecidos para la propuesta de Inyección Somera.	92
Tabla 5.3 Tiempo de llenado para los mezcladores 1 y 2 (etapa I) e inyección.	93
Tabla 5.4 Resultados obtenidos en los requerimientos de capacidad por perforación en cada una de las etapas.	95
Tabla 5.5 Numero de baches y bulbos.	96
Tabla 5.6 Escenarios planteados para llevar a cabo la tecnología de Inyección Somera.	96
Tabla 5.7 Escenario 1. a) Capacidades propuestas b) Tiempos establecidos	97
Tabla 5.8 Sobredimensionamiento de los equipos para el escenario 1.	98
Tabla 5.9 Capacidad de uso de los equipos para el escenario 1; tomando en cuenta los tiempos establecidos.	100
Tabla 5.10 Tiempo en alcanzar la capacidad, parada, funcionamiento y numero de lotes por perforación. Escenario 1; tomando en cuenta las capacidades de los equipos.	102

Tabla 5.11 Porcentaje de tiempo en funcionamiento y parada de los equipos. Escenario 1.	102
Tabla 5.12 Escenario 2. a) Capacidades propuestas, b) Tiempos establecidos	104
Tabla 5.13 Sobredimensionamiento de los equipos para el escenario 2.	105
Tabla 5.14 Tiempo en alcanzar la capacidad de los mezcladores propuestos (escenario 2) para la primera perforación.	105
Tabla 5.15 Capacidad de uso de los equipos para el escenario 2 cuando se toma en cuenta los tiempos establecidos.	107
Tabla 5.16 Tiempo en alcanzar la capacidad, parada, funcionamiento y número de lotes por perforación. Escenario 2; tomando en cuenta las capacidades de los equipos.	108
Tabla 5.17 Porcentaje de tiempo en funcionamiento y parada de los equipos. Escenario 2.	108
Tabla 5.18 Escenario 3. a) Capacidades propuestas, b) Tiempos establecidos.	109
Tabla 5.19 Sobredimensionamiento de los equipos para el escenario 3.	110
Tabla 5.20 Tiempo en alcanzar la capacidad de los mezcladores propuestos (escenario 3) para la primera y segunda perforación.	111
Tabla 5.21 Ajuste por capacidad para los mezcladores. Escenario 3	112
Tabla 5.22 Sobredimensionamiento de los equipos por ajuste de capacidad para el escenario 3.	112
Tabla 5.23 Tiempo de retención ajustado para la primera perforación. Escenario 3.	113
Tabla 5.24 Capacidad de uso de los equipos para el escenario 3 cuando se toma en cuenta los tiempos establecidos.	113
Tabla 5.25 Tiempo en alcanzar la capacidad, parada, funcionamiento y número de lotes por perforación. Escenario 3; tomando en cuenta las capacidades de los equipos.	114

Tabla 5.26 Porcentaje de tiempo en funcionamiento y parada de los equipos. Escenario 3.	115
Tabla 5.27 Formulación de aditivos por unidad de masa para lodos base agua.	116
Tabla 5.28 Formulación de aditivos por unidad de masa para lodos base aceite.	117
Tabla 5.29 Total de volumen y masa para lodos base agua en la etapa I.	117
Tabla 5.30 Total de volumen y masa para lodos base aceite en la etapa I.	117
Tabla 5.31 Total de volumen y masa para lodos base aceite en la etapa II.	118
Tabla 5.32 Total de volumen y masa para los aditivos en el escenario 3.	118
Tabla 5.33 Total de volumen y masa de aditivos por bache para cada perforación.	119
Tabla 5.34 Capacidades de los dosificadores seleccionados.	120
Tabla 5.35 Características de los dosificadores para líquidos seleccionados.	120
Tabla 5.36 Capacidades de los tornillos transportadores.	120
Tabla 5.37 Equipos adicionales para llevar a cabo la tecnología DEGRINS™.	121

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Fig. 2.1 Esquema de una torre de perforación.	10
Fig. 2.2 Principio de Biotratamiento.	14
Fig. 2.3 Desorción térmica	22
Fig. 3.1 Pruebas de inyección a escala banco en modelo de caolinita saturada normalmente consolidada. A la izquierda experiencia fallida con afloramiento de la mezcla a superficie. A la derecha inyección exitosa con formación de bulbo.	29
Fig. 3.2 a) Modelo hipotético de la difusión/advección de los componentes solubles. b) Esquema del emplazamiento de pozos de monitoreo alrededor de cada pozo de inyección de ripios.	31
Fig. 3.3 Puntos de inyección 1 y 2.	32
Fig. 3.4 Comportamiento de la presión a lo largo de la experiencia de inyección en arcillas blandas a 4.5 m de profundidad con cambios secuenciales en el sistema de bombeo.	35
Fig. 3.5 Tomografías en suelo natural (izquierda) y después de la inyección (derecha).	36
Fig. 3.6 Esquema de equipos utilizados y disposición de pozos de monitoreo en la prueba de Inyección Somera en San Lorenzo.	38
Fig. 3.7 Perfil geotécnico en el sitio de prueba de San Lorenzo.	39
Fig. 3.8 Presión de poros (psi) en el suelo antes de la inyección.	40
Fig. 3.9 Mediciones con los piezómetros durante la inyección del bulbo a 8 m de profundidad.	41
Fig. 3.10 Mediciones con los piezómetros durante la inyección del bulbo a 17 m de profundidad.	41

Fig. 3.11 Incremento de las presiones de poros por encima de las condiciones iniciales durante la inyección para el bulbo a 8 m de profundidad.	42
Fig. 3.12 Incremento de las presiones de poros por encima de las condiciones iniciales durante la inyección para el bulbo a 17 m de profundidad.	42
Fig. 3.13 Presión de poros (psi) en el suelo 20 semanas después de la inyección a 8 m de profundidad.	43
Fig. 3.14 Presión de poros (psi) en el suelo 20 semanas después de la inyección de 50 m <sup>3</sup> de mortero arena cemento a 17 m de profundidad.	43
Fig. 3.15 Dimensiones finales de los bulbos inyectados a 8 y 17 m de profundidad. El volumen de un elipsoide de revolución: $\frac{4}{3} \pi (c/2)^2(b/2)$ donde: b, es el eje mayor y c, es el eje menor.	44
Fig. 4.1 Representación de la microesponja y la absorción del material contaminante.	48
Fig. 4.2 A- Se comienza la inyección y generación del bulbo. B- Ocorre disminución brusca de la presión, producto de la formación de una grieta. C- Se continúa la inyección, la grieta aumenta hasta llegar a la superficie. D- Se regulan los tiempos de inyección y la dosificación de la matriz a fin de crear el bulbo con el volumen deseado.	49
Fig. 4.3 Diagrama de tratamiento de ripios.	52
Fig. 4.4 Fotos de cada una de las etapas de la tecnología DEGRINS <sup>TM</sup> .	52
Fig. 4.5 Esquema del pozo (Vista Lateral). En donde H= Profundidad y D= Diámetro.	54
Fig. 4.6 Esquema de los tipos de mezcladores para manejo de sólidos.	61
Fig. 4.7 Esquema de los tipos de bomba.	65
Fig. 4.8 Selección entre bombas dinámicas y desplazamiento positivo.	66

Fig. 4.9 Curvas características. a) Presión vs Caudal, b) Caudal vs Viscosidad, c) Eficiencia vs Presión, d) Eficiencia vs Viscosidad.	67
Fig. 4.10 Comportamiento del flujo vs el tiempo según el número de pistones	70
Fig. 4.11 Clasificación de transportadores según material de trabajo.	71
Fig. 4.12 Clasificación de los dosificadores.	75
Fig. 4.13 Equipos utilizados en la propuesta 1.	78
Fig. 4.14 Equipos utilizados en la propuesta 2.	79
Fig. 4.15 Equipos utilizados en la propuesta 3.	81
Fig. 4.16 Equipos utilizados en la propuesta 4.	83
Fig. 4.17 Equipos utilizados en la propuesta 5.	85
Fig. 4.18 Equipos utilizados en la propuesta 6.	87
Fig. 5.1 Desarrollo del escenario 1.	97
Fig. 5.2 Formas de trabajo para los equipos de la tecnología DEGRINS <sup>TM</sup> cuando se profundiza en la perforación.	99
Fig. 5.3 Desarrollo del escenario 2.	104
Fig. 5.4 Desarrollo del escenario 3.	110

## LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
Gráfica 4.1 Promedio de las profundidades de pozos cada 10 años.	55
Gráfica 5.1 Porcentaje de capacidad utilizada de los equipos en cada perforación para el escenario 1; tomando en cuenta los tiempos establecidos.	100
Gráfica 5.2 Distribución del tiempo total por perforación para los mezcladores en el escenario 1; tomando en cuenta las capacidades de los equipos.	103
Gráfica 5.3 Porcentaje de la distribución del tiempo total para los mezcladores en el escenario 1; tomando en cuenta las capacidades de los equipos.	103
Gráfica 5.4 Porcentaje de capacidad utilizada de los equipos en cada perforación para el escenario 2; tomando en cuenta los tiempos establecidos.	107
Gráfica 5.5 Distribución del tiempo total por perforación para los mezcladores en el escenario 2; tomando en cuenta las capacidades de los equipos.	108
Gráfica 5.6 Porcentaje de la distribución del tiempo total para los mezcladores en el escenario 2; tomando en cuenta las capacidades de los equipos.	109
Gráfica 5.7 Porcentaje de capacidad utilizada de los equipos en cada perforación para el escenario 3; tomando en cuenta los tiempos establecidos.	114
Gráfica 5.8 Distribución del tiempo total por perforación para los mezcladores en el escenario 3; tomando en cuenta las capacidades de los equipos.	115
Gráfica 5.9 Porcentaje de la distribución del tiempo total para los mezcladores en el escenario 3; tomando en cuenta las capacidades de los equipos.	115

## GLOSARIO

**Anular:** espacio entre dos columnas de tubería o espacio entre la pared del pozo y la tubería.

**Arcilla:** silicato de aluminio hidratado, formado por la descomposición del feldespato y otros silicatos de aluminio. El diámetro de sus partículas son menores a 0.002 mm al ser humedecida es plástica y pegajosa, cuando seca forma terrones duros.

**Arena:** roca sedimentaria formada por granos principalmente de cuarzo, consolidada en areniscas, en las cuales se encuentran la mayoría de los yacimientos.

**Barrena:** elemento cortante o triturador utilizado para perforar pozos de petróleo. Sirven de elemento cortante y forma parte del sistema de circulación del fluido de perforación. También es llamado mecha o broca.

**Barril:** unidad volumétrica de medida que se emplea en la industria petrolera. Equivale a 42 galones.

**Bentonita:** arcilla constituida principalmente por el mineral montmorinolita sódica. Tiene un rendimiento de más de 85 barriles por tonelada. El término genérico bentonita no es ni un nombre mineralógico, ni tiene una composición mineralógica definida.

**Bombas de lodo:** bombas en el equipo de perforación, usadas para hacer circular los fluidos de perforación.

**Desorción:** proceso opuesto a la absorción. Separar una molécula o átomo adherido a una superficie.

**Formación:** una sección del subsuelo, compuesta sustancialmente del mismo tipo de roca.

**Fragmentos rocosos:** partículas minerales cuyos diámetros son superiores a 2mm y son piedras, grava y cascajo.

**Hoyo:** conducto que comunica el subsuelo con la superficie. Abrir ese conducto es el objetivo de la perforación.

**Limo:** partículas minerales cuyos tamaños oscilan entre 0.002 y 0.05 mm. Al tacto es como la harina o el talco, y tiene alta capacidad de retención de agua.

**Lixiviación:** la lixiviación es un proceso en el cual se extrae uno o varios solutos de un sólido, mediante la utilización de un disolvente líquido. Ambas fases entran en contacto íntimo y el soluto o los solutos pueden difundirse desde el sólido a la fase líquida, lo que produce una separación de los componentes originales del sólido.

**Lodo:** nombre común dado al fluido de perforación.

**Lutita:** roca sedimentaria impermeable, producto de la compactación de arcillas con estratificación muy delgada. Las lutitas se consideran de las mejores rocas madres, generadoras de hidrocarburos.

**Permeabilidad:** propiedad de una roca de permitir el movimiento de un fluido a través de ella.

**Porosidad:** propiedad de una roca de tener espacios vacíos entre sus moléculas materiales, de manera que en ellos se puedan acumular hidrocarburos y otros fluidos.

**Pozo:** hoyo que se perfora para buscar o poner a producir hidrocarburos. El sondeo se trabaja mecánicamente desde la superficie, para penetrar en los yacimientos. A medida que se avanza se protege el pozo con tuberías de revestimiento. Pueden producir de manera natural o por mecanismos artificiales.

**Reología:** el término reología es utilizado para denotar la ciencia que estudia la deformación y el flujo de la materia.

La reología aplicada a los fluidos de perforación permite estudiar el comportamiento del flujo de un fluido cuando circula a través de una tubería u otro conducto.

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.

**Ripio:** fragmentos pequeños de la formación cortados por la barrena y extraídos a la superficie por el movimiento ascendente de fluido de perforación.

**Sarta de perforación:** nombre dado a la longitud de la tubería usada en la perforación, incluyendo tubería de perforación y lastra barrena.

**Yacimiento:** unidad natural de producción, acumulación de petróleo en el subsuelo, que tiene límites definidos y es impermeable a los fluidos confinados. Un campo puede estar formado por uno o varios yacimientos.

## INTRODUCCIÓN

En la perforación petrolera los lodos de perforación cumplen diversas funciones cruciales como lo son: suspensión de rocas, control de presión, estabilización de las formaciones, flotabilidad, lubricación y enfriamiento.

Al lodo se le bombea desde la superficie, a través de la sarta de perforación hueca, este sale a través de unas boquillas ubicadas en la barrena la cual está fragmentando la formación rocosa, posteriormente 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, esto se hace a través del espacio anular existente entre la sarta de perforación y las paredes del pozo. Una vez que este fluido con detritos llega a la superficie, viaja a través de la línea de retorno del lodo y para poder incorporar el mismo al sistema de recirculación es necesario separar los detritos del fluido, esto se hace por medio de tamices vibratorios o zarandas que hacen posible esta separación. El lodo regresa al tanque de lodo y los ripios se deslizan por la zaranda que se encarga de desecharlos.

Si bien los fluidos son esenciales para perforar con éxito un pozo de petróleo, también pueden convertirse en uno de los aspectos más problemáticos de una operación de perforación. Los ripios que se extraen del pozo deben desecharse, junto con los fluidos de perforación que permanecen impregnados en ellos y mientras el daño al medio ambiente en el sitio del pozo es relativamente pequeño, en los alrededores de la operación de perforación, es decir, en las zonas próximas a la plataforma, el impacto ecológico puede ser muy grande. El nivel de daño que los fluidos de perforación producen en el medio ambiente depende de la clase de lodo utilizado y de las condiciones de medio ambiente en la cual se encuentra.

Debido a lo antes expuesto se han desarrollado diversas tecnologías como lo son el biotratamiento, la inyección profunda, el microencapsulamiento, etc., que

buscan disminuir el impacto ambiental que estos rípios ocasionan. Entre las tecnologías antes expuestas en Venezuela se está desarrollando una nueva tecnología la cual lleva como nombre Doble Encapsulado Granulado de Rípios Inyección Somera (DEGRINS<sup>TM</sup>) o como comúnmente se le conoce Inyección Somera de Residuos de Perforación. Dicha tecnología consiste en inyectar los desechos previamente tratados, en estratos someros (< 50 m de profundidad) de los suelos arcillosos blandos, creando de esta manera un bulbo tanto química como físicamente estable, el cual va a estar constituido por materiales no tóxicos y por ende amigables al ambiente.

En este orden de ideas se propone incorporar esta nueva tecnología como una alternativa que reduce los costos de las actividades de perforación, específicamente, aquellas relacionadas con el manejo, el tratamiento y la disposición de los residuos cuando se trabaja en zonas ambientalmente sensibles como pantanos, estuarios y lagos. Además se evita el gasto en el transporte de los residuos de perforación de los taladros, al sitio de disposición final, ya que se propone un proceso que va en línea con los tiempos de perforación. Para ello se plantea hacer la selección y disposición de los equipos determinando su rango de operación y la cantidad máxima que puede ser inyectada para una condición de suelo y profundidad, sin que ocurra ruptura de los estratos superficiales teniendo en cuenta además, que estos equipos deben poseer dimensiones que permitan su fácil traslado de un lugar a otro o su uso en plataformas a mar abierto.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Una vez que los detritos son separados del lodo el cual vuelve al proceso de recirculación, estos deben ser desechados de forma tal que causen el menor impacto ambiental. La tecnología de inyección somera consiste en tomar estos ripios, y mezclarlos con una serie de aditivos que permitan obtener unas propiedades adecuadas para poder ser inyectados en los estratos someros cercanos al sitio de perforación.

Hasta los momentos las pruebas de inyección somera que se han realizado, se han llevado a cabo con equipos que si bien han hecho posible la realización de las mismas, no lo han hecho de la manera más eficiente, ya que estas pruebas han tenido como finalidad evaluar y monitorear el comportamiento a escala de los bulbos formados y no los costos que pueden implicar estos equipos, su facilidad de uso y transporte de un punto de inyección a otro, así como tampoco la magnitud del volumen de ripios que se necesita tratar al momento de un proceso de perforación.

Por otra parte, en las pruebas realizadas los detritos han sido transportados desde el área de perforación hasta el sitio de inyección por vehículos de transporte pesado, haciendo el proceso discontinuo y aumentando los costos. Es por eso, que se busca diseñar un equipo que no requiera de transporte para el traslado de los desechos producto de la perforación al área de inyección, sino que por el contrario trabaje en serie con el taladro; además, este equipo tiene que ser portátil, de fácil manejo y con dimensiones que permitan su uso hasta en plataformas de perforación a mar abierto.

## **OBJETIVO GENERAL**

Diseño de equipos necesarios para lograr realizar la inyección de desechos de perforación en los estratos arcillosos, dado un rango de esfuerzos de corte que presenta el suelo y unas condiciones de viscosidad de la mezcla.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Diseño de equipos y disposición de los mismo determinando su rango de operación.
- Determinar la cantidad máxima que puede ser inyectada para una determinada condición de suelo y profundidad, sin que ocurra ruptura de los estratos superficiales.
- Elaboración de manuales de funcionamiento de los equipos.
- Preparar protocolos específicos de ajuste de propiedades reológicas a diversas condiciones geotécnicas.
- Revisión de variables ambientales en inyecciones anteriores.

# **CAPITULO I**

## **RESEÑA HISTÓRICA**

### **1.1 Explotación petrolera.**

En la antigüedad el petróleo aparecía de forma natural en ciertas zonas del medio oriente; hace 6.000 años los Asirios y Babilonios lo usaban para pegar ladrillos y piedras; los egipcios, para engrasar pieles; y las tribus precolombinas de México pintaron esculturas con él.

Pero no fue sino hasta 1859, cuando el Coronel Edwin Drake perforó el primer pozo petrolero en Pensilvania Estados Unidos marcando así el comienzo de la industria petrolera moderna. <sup>[9]</sup>

### **1.2 Fluidos de perforación.**

En los primeros usos del sistema rotatorio de perforación se usó agua como fluido circulante. Es probable que para esa época el único propósito de usar circulación de agua fuera transportar los fragmentos o virutas de rocas desde el fondo del hoyo a la superficie después de ser cortados por la mecha. <sup>[9]</sup>

De acuerdo con los datos que se conocen, los lodos de perforación se utilizaron por primera vez en 1901, esto coincide con el inicio de la perforación rotatoria en un campo petrolero del estado de Texas USA. El lodo usado era solo una mezcla de agua con arcilla. <sup>[9]</sup>

No transcurrió mucho tiempo sin que los perforadores se dieran cuenta que el agua que contenía arcilla daba mejores resultados que agua pura. Se observó que el material finamente dividido formaba una costra sobre las paredes que ayudaba a soportarlas y prevenir desmoronamiento así como también reducía la cantidad de

agua perdida a través de las formaciones porosas del hoyo. Se notó que la suspensión de sólidos en el agua debido a su mayor densidad, era más efectiva que el agua para contrarrestar las altas presiones de gas o agua de las formaciones. Además, se halló que el barro de mayor densidad, causa un efecto flotante mayor sobre la tubería de perforación y de revestimiento, aliviando de esta manera la carga del equipo perforador al bajar y subir la tubería del hoyo.

La historia de los lodos de perforación se puede dividir en cuatro etapas fundamentales:

Hasta 1901 Periodo artesanal.

De 1901 a 1928 Periodo empírico.

De 1928 a 1955 Periodo experimental.

De 1955 hasta nuestros días Periodo Técnico.

Esta división se basa en determinadas características históricas del desarrollo de los lodos de perforación utilizados en la perforación rotatoria. En el periodo llamado artesanal, se usaba agua, ya que al mezclarse con las arcillas de la formación perforada, daba origen a un lodo con propiedades indeterminadas.

En el año 1914 se publicó con los nombres de HEGGEN y POLLARD la primera información aparecida en la literatura norteamericana sobre el uso del lodo de perforación. En 1916 LEWIS y MCMURRAY publicaron un artículo discutiendo el problema del empleo del lodo de perforación con el sistema de cable. A medida que los años pasaron, fueron surgiendo problemas en la perforación de los pozos, lo cual hace que en la década de los años veinte se comenzara una intensa búsqueda de materiales para mejorar el lodo de circulación. Estos años constituyen el periodo empírico, en el que se utilizaba el método de ensayo y error. <sup>[9]</sup>

Alrededor de 1928 comienza un periodo experimental, cuando se logra el primer paso importante, con la introducción de la arcilla bentonita, como fuente

fundamental del lodo y se inició también el desarrollo de los instrumentos y equipos necesarios para la medición y control de los parámetros de los lodos.

A partir de 1926, se conceden un grupo de patentes, como la concedida a B. K. STAUD para el uso de material densificante tales como sulfato de bario, óxido de hierro, óxido de plomo, etc., para lodos de perforación, donde se impedía reventones de gas. <sup>[9]</sup>

En 1929 se concede a P. E. HARTH la patente para el uso de bentonita como agente de suspensión y gelificación en lodos de perforación. A partir de 1931 se introduce el uso del embudo de MARSH y el viscosímetro Stormer de precisión. Se desarrolla la técnica de preparar y mantener lodos de perforación, se iniciaron numerosos estudios sobre el uso de la bentonita como agente de control de las propiedades reológicas y el filtrado, y se introduce el uso del filtro prensa para determinar las propiedades de filtración. <sup>[9]</sup>

A partir de 1937 se desarrollan equipos para determinar las propiedades de los lodos de manera de desarrollar y mejorar los aditivos para un mayor control de sus propiedades. En 1955 comienza un vertiginoso desarrollo de las técnicas de diseño y formulación de los lodos. Se realizan vastas y profundas investigaciones que traen consigo un salto cualitativo de esta especialidad situándola en el campo mundial como una ciencia con un grado de desarrollo científico y tecnológico.

## **CAPITULO II**

### **CONCEPTOS FUNDAMENTALES**

#### **2.1 Técnicas de explotación petrolera.**

Inicialmente se utilizó el sistema de perforación a percusión, esta técnica de perforación consiste en realizar un movimiento alternativo de bajada-subida de una masa pesada que en su caída va fracturando o disgregando la roca, desprendiendo de la misma trozos de variado tamaño, que después se extraen por medio de una válvula o cuchara de limpieza. Esta práctica pronto fue reemplazada por el sistema rotatorio de perforación a medida que se explotaban yacimientos a mayor profundidad.

#### **2.2 Perforación rotatoria.**

La realiza una mecha de acero cortante, enroscada en el extremo inferior de una columna de tubos de acero, cuya longitud aumenta añadiendo nuevos tubos al extremo superior a medida que se profundiza el pozo. Para subir y bajar la columna de tubos se requiere de un punto de apoyo el cual está constituido por la torre de perforación más todo el equipo adicional que realiza, a este respecto, el trabajo similar al de una grúa. <sup>[12]</sup>

La rotación se suministra en la parte superior de la tubería girando la columna de tubos en cuyo extremo inferior se encuentra la mecha que perfora a través de la formación. Para acondicionar y retirar del pozo los fragmentos de rocas cortados por la mecha se dispone de un equipo mecánico y una serie de bombas. A continuación el lodo junto con los fragmentos de roca proveniente del pozo pasa a una serie de equipos para la remoción de sólidos, donde el ripio es desechado y el lodo cae en un tanque donde se vuelve a circular hacia la broca por medio de las bombas de barro. <sup>[12]</sup>

A continuación se presentan los equipos necesarios para llevar a cabo la perforación rotatoria:

- Equipo para izar y arriar la tubería.
- Ensanchador o escariador.
- Equipo para energía.
- Fosa y tanques.
- Bombas de barro.
- Manguera reforzada del barro.
- Equipo para la circulación del lodo.
- Equipos de remoción de sólidos.

### **2.2.1 Equipos de remoción de sólidos.**

Consiste en utilizar equipos mecánicos donde se aprovechan ciertos fenómenos físicos para separar los sólidos y el líquido. Como generalmente los equipos mecánicos no pueden remover todos los sólidos generados la eficiencia de remoción de sólidos se encuentra generalmente en el rango de 25 a 90%.<sup>[12]</sup>

La remoción de sólidos es diferente para los lodos densificados y no densificados. En los lodos densificados (sin barita) se utilizan las zarandas y tamices adecuados para separar y descartar los sólidos perforados de más de 74  $\mu\text{m}$  (arena) manteniendo la barita con el líquido, luego de una serie de equipos, la centrifuga se encarga de recuperar la barita, descartando las partículas coloidales en el líquido.<sup>[12]</sup>

Los equipos son colocados de tal manera que sean removidos primero los sólidos de mayor tamaño, y finalmente los más finos, esto se hace para evitar cargar con gran cantidad de sólidos (ya que generalmente los equipos que remueven partículas finas no poseen capacidad de manejar una carga muy

densa), en este sentido se ubican siempre en primer lugar las zarandas para eliminar la grava y arena, luego los ciclones, desarenadores, deslimadores, el limpia lodo, posteriormente la centrifuga secadora y finalmente las centrifugas. [12]

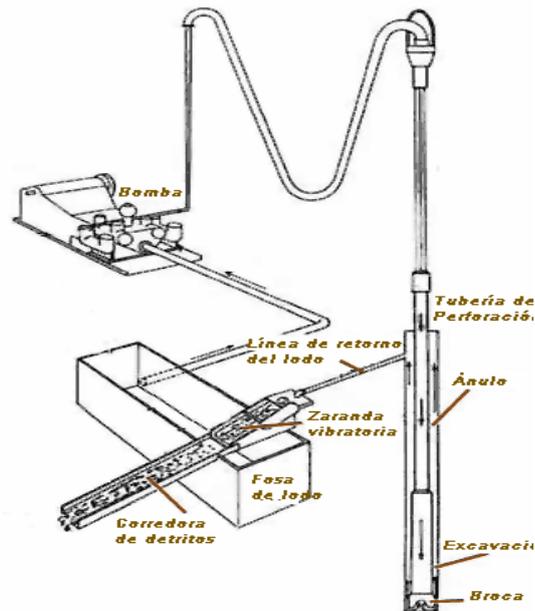


Figura (2.1) Esquema de una torre de perforación.

### 2.3 Lodos de perforación.

Agua o aceite son fluidos de perforación satisfactorios algunas veces. Sin embargo, las funciones a realizar requieren que el barro o lodo tenga propiedades que no pueden adquirirse de líquidos ordinarios. En consecuencia un barro típico consiste de:

- Una fase continua (base líquida).
- Una fase dispersada formadora de gel tal como sólidos coloidales o líquidos emulsificados que proporcionan la viscosidad, tixotropía y costra de barro deseado.

- Otros sólidos inertes dispersados tales como material para peso, arena y virutas.
- Varias sustancias químicas necesarias para controlar las propiedades del barro dentro de los límites deseados. <sup>[9]</sup>

El lodo cumple con una serie de funciones en el proceso de perforación petrolera, las cuales se caracterizan por ser unas más importantes que otras, a continuación se presentan una clasificación de dichas funciones.

- **Funciones principales de los fluidos de perforación.**

- Mantener el hueco limpio.
- Mantener en suspensión el material cortado.
- Enfriamiento y lubricación de la mecha y la tubería de perforación.
- Formación de una costra impermeable en las paredes del hueco.
- Prevenir derrumbes del hueco.
- Evitar reventones.

- **Funciones secundarias de los fluidos de perforación.**

- Contribuir a la toma del registro electrográfico.
- Expulsión de gas a la superficie.
- Lubricación de las paredes del hueco.
- Impedir contaminación de la formación productora.

## **2.4 Clasificación de los lodos de perforación.**

En la clasificación de los lodos de perforación se pueden aplicar varios criterios. Usando la salinidad del agua, se agrupan en lodos de agua fresca y lodos de agua salada. Por el tratamiento químico que se les da se dividen en lodos fosfatados,

lodos rojos, lodos con agentes de superficie activos y lodos de emulsión. Por la base del lodo se dividen en lodos con base agua y lodos base aceite.

#### **2.4.1 Lodos base agua.**

Son aquellos en los cuales se emplea agua como disolvente principal, generalmente son utilizados para perforar los primeros metros de la corteza, aunque su uso se puede extender hasta profundidades considerables añadiendo una serie de componentes al lodo para que el mismo pueda soportar condiciones de trabajo más severas sin perder sus propiedades. <sup>[9]</sup>

A continuación se presentan algunos lodos base agua:

- Lodos de agua y arcilla.
- Lodos naturales.
- Lodos rojos.
- Lodos de fosfatos.
- Lodos de agua dulce tratados con calcio.

#### **2.4.2 Lodos base aceite.**

Se llaman lodos de emulsión aquellos en los cuales se ha mezclado el lodo de arcilla y agua con aceites que se mantienen en suspensión en el agua. Es importante que la emulsión sea estable y que el aceite no se separe de la mezcla. Esta estabilidad se logra usando agentes emulsivos cuya labor es mantener el aceite en suspensión y dar al lodo una contextura homogénea. <sup>[9]</sup>

Se usa las emulsiones para proporcionar a la mecha una lubricación extra para que esta no se atasque en el hueco en presencia de lutitas agrandadas. Anteriormente cuando la mecha se trancaba se arrojaba unos cuantos barriles de

petróleo al hueco para aflojar la tubería. Luego se pensó en su uso dentro del lodo para que actuara como lubricante antes de producirse la obstrucción en el hueco. Las ventajas que presenta ante los otros lodos es que aumenta la vida útil de la mecha, disminuye la presión de la bomba de recirculación y aumenta la rata de penetración y el tiempo de rotación al no haber la necesidad de reemplazar la broca tan a menudo. <sup>[1]</sup>

#### **2.4.2.1 Composición de los lodos base aceite o lodos de emulsión.**

##### **2.4.2.1.1 Agentes emulsivos.**

Todas las partículas sólidas de tamaño coloidal en el lodo de arcilla y agua sirven de emulsivos. Se incluyen partículas hidratables de bentonita, partículas inertes de cuarzo, barita y partículas orgánicas. <sup>[9]</sup>

##### **2.4.2.1.2. Aceites usados.**

Prácticamente se puede emplear cualquier clase de aceite en la preparación de las emulsiones. Sin embargo, hay unos que reúnen mejores cualidades que otros. Por ejemplo, la Shell usa en el oeste de Venezuela, petróleo de Guasare que ha sido el que mejor se emulsiona con el barro natural de esa región. La cantidad de aceite para preparar la emulsión varía desde 8 a 50%. <sup>[9]</sup>

#### **2.4.2.2 Tipos de emulsiones.**

- Emulsiones aceite en agua.
- Emulsiones de agua en aceite.
- Lodos con base aceite.
- Lodos con agentes de superficie activos.

### **2.4.3 Razones por las cuales usar lodos base aceite.**

- Para perforar lutitas problemáticas utilizando el concepto de actividad balanceada.
- Para prevenir las pérdidas de circulación en formaciones con bajo gradiente de presión. Los lodos base aceite permiten perforar bajo balance, es decir, con este tipo de lodo se pueden perforar con un peso menor al requerido con los lodos de base acuosa.
- Para perforar zonas productoras. Los lodos base aceite no causan problemas de hinchamiento de las arcillas de formación y en consecuencia no disminuyen la permeabilidad.
- Para perforar hoyos profundos de alta temperatura.
- Para perforar domos salinos, anhídrita, yeso, etc. Los cuales son suficientemente solubles para causar la floculación de un lodo base acuosa.
- Para perforar hoyos direccionales.
- Para perforar formaciones productoras de  $H_2S/CO_2$ . Estos gases causan problemas de corrosión y alteran notablemente la reología de los lodos base agua.
- Para prevenir atascamiento de la tubería en zonas permeables y hoyos desviados. Los lodos base aceite poseen un alto coeficiente de lubricación que los ayuda a minimizar los problemas de torque y arrastre. <sup>[12]</sup>

### **2.4.4 Comparación de los lodos base aceite con los lodos base agua.**

- La preparación inicial de los lodos base aceite toma más tiempo y su costo es mayor al de los lodos base agua.
- El costo de mantenimiento de los lodos base aceite es menor a altas temperaturas.

- Los problemas de torque, arrastre y atascamiento de tubería minimizan bastante con los lodos base aceite.
- El problema de contaminación ambiental es mayor con lodos base aceite.
- Los lodos base aceite son menos afectados por los contaminantes comunes.
- La toma y análisis de núcleos resulta mejor con lodos base aceite.
- El trabajar con lodo base aceite resulta más peligroso para el personal del taladro.
- La velocidad de penetración con lodo base aceite es menor.
- El problema de derrumbes de deformaciones lutíticas sensibles al agua, es menor cuando se usa lodo base aceite.
- Los lodos base aceite permiten perforar bajo balance.
- El problema de corrosión es menor con lodos base aceite.
- El problema de asentamiento de barita es mayor con lodos base aceite.
- Las propiedades reológicas (viscosidad plástica, punto cedente, entre otros) de los lodos base aceite son menores.
- El agua libre es un contaminante para lodos base aceite.
- La interpretación de los perfiles resulta más difícil con lodo base aceite.
- El desplazamiento con lodo base aceite es más problemático.
- Los hoyos perforados con lodos base aceite resultan más calibrados. <sup>[12]</sup>

## **2.5 Desafíos del medio ambiente.**

En la actualidad, el mayor desafío al fabricar fluidos de perforación es poder satisfacer las condiciones cada vez más exigentes de las altas temperaturas y presiones que se encuentran en algunos pozos profundos, de alcance extendido y pozos horizontales, evitando, a la vez provocar daños al medio ambiente. Los componentes de los fluidos de perforación deben seleccionarse de manera tal que el impacto producido al medio ambiente por el desecho de lodo o detritos sea mínimo. La preservación del medio ambiente es una de las causas principales que impulsa la investigación y el desarrollo de los fluidos de perforación hoy en día.

Con tantos contaminantes, el impacto ecológico se ve influenciado por la forma en la que el contaminante se desecha y luego se dispersa en el medio ambiente. Los detritos impregnados con lodo base aceite, cuando se desechan bajo el agua, no se dispersan tanto como en el caso del lodo a base de agua y es posible que se formen acumulaciones de detritos que cubran zonas del fondo del mar. A medida que se descompone, el oxígeno se consume y esto puede dar origen a sulfuros tóxicos. Estas condiciones pueden llevar a la eliminación casi absoluta de los organismos que habitan el fondo del mar, en las cercanías de la plataforma.

### **2.5.1 Pruebas para la regulación de los fluidos de perforación.**

La regulación de los fluidos de perforación varía según la ubicación geográfica y las leyes locales. Se llevan a cabo pruebas para determinar la toxicidad de los químicos presentes en el lodo y pruebas adicionales para recoger datos sobre la Biodegradación y Bioacumulación.

#### **- Pruebas de toxicidad.**

Las pruebas de toxicidad también se utilizan para pronosticar el impacto de un contaminante en el medio ambiente. Los resultados de estos experimentos se utilizan para estimar la cantidad máxima de material que se puede deschar sin que produzca un efecto directo y tóxico en el medio ambiente.

### **2.6 Manejo de los desechos provenientes de perforaciones petroleras.**

Uno de los principales problemas de la explotación petrolera consiste en el manejo de los desechos provenientes de la perforación de los pozos. Si bien el lodo restante de la perforación puede ser usado en otras perforaciones, no sucede lo mismo

con el ripio impregnado de lodo, ya que el mismo para poder ser desechado tiene que cumplir con una serie de parámetros ambientales los cuales dificultan su manejo y disposición final, creando así un problema. Existen diferentes tecnologías aplicadas en el país para el manejo y acondicionamiento del ripio a fin de hacerlo más amigable con el ambiente y buscando además ajustarlo al marco del decreto 2635; estas técnicas constan de dos etapas que son el tratamiento y la disposición final.

### **2.6.1 Clasificación de las tecnologías de manejo de desechos de perforaciones petroleras.**

Las tecnologías de manejo de desechos pueden clasificarse de diferentes maneras, en base a los siguientes principios: estrategia de tratamiento, lugar en que se realiza el proceso de tratamiento y tipo de tratamiento. A continuación se describen con más detalle las clasificaciones anteriores.

#### **- Estrategia de tratamiento.**

Son tres estrategias básicas que pueden usarse separadas o en conjunto, para tratar la mayoría de los desechos contaminados con lodos de perforación:

- Destrucción o modificación de los contaminantes. Este tipo de tecnologías busca alterar la estructura química del contaminante.
- Extracción o separación. Los contaminantes se extraen y/o separan del medio contaminado, aprovechando sus propiedades físicas o químicas (volatilización, solubilidad, carga eléctrica).
- Aislamiento o inmovilización del contaminante. Los contaminantes son estabilizados, solidificados o contenidos con el uso de métodos físicos o químicos.

- **Lugar de realización del proceso de tratamiento**

En general se distinguen dos tipos de tecnología:

- In situ, son las aplicaciones en las que el suelo contaminado es tratado, o bien, los contaminantes son removidos del suelo contaminado sin necesidad de excavar el sitio, es decir, se realizan en el mismo sitio en donde se encuentra la contaminación.
- Ex situ, la realización de este tipo de tecnologías, requiere de excavación, dragado o cualquier otro proceso para remover el suelo contaminado antes de su tratamiento que puede realizarse en el mismo lugar o fuera de él (centro de acopio).

- **Tipo de tratamiento.**

Esta clasificación se basa en el principio de la tecnología de remediación y se divide en tres tipos de tratamiento:

- Tratamientos biológicos (biorremediación); utilizan las actividades metabólicas de ciertos organismos (plantas, hongos, bacterias) para degradar (destrucción), transformar o remover los contaminantes a productos metabólicos inocuos.
- Tratamientos fisicoquímicos; este tipo de tratamientos utiliza las propiedades físicas y/o químicas de los contaminantes o del medio contaminado para destruir, separar o contener la contaminación.
- Tratamientos térmicos, utilizan calor para incrementar la volatilización (separación), quemar, descomponer o fundir (inmovilización) los contaminantes en un suelo.

## 2.6.2 Tecnologías de tratamiento de los desechos de perforaciones petroleras.

### 2.6.2.1 Biotratamiento.

Se fundamenta en la estimulación de la actividad de microorganismos presentes en suelos con capacidad de degradar hidrocarburos, facilitando la decodificación de desechos orgánicos mediante el proceso de biodegradación. El principio básico del proceso de biorremediación consiste en la destrucción de la estructura de los hidrocarburos para convertirlos en los componentes no tóxicos de bióxido de carbono, agua y biomasa. Esto se logra mediante el cultivo de bacterias endémicas con capacidad de adaptación a las condiciones ambientales y a las características del suelo en el sitio del tratamiento. <sup>[11]</sup>

El proceso en cuestión consiste en la inoculación del material contaminado por petróleo con varias cepas de microorganismos combinadas con aminoácidos, enzimas, vitaminas, minerales y nutrientes que mejoran la bioreceptividad y la capacidad metabólica de las bacterias aumentando su capacidad de oxigenación y mineralización de los hidrocarburos. Tal como cualquier otro organismo, los pequeños comedores de petróleo necesitan alimentos para vivir y multiplicarse, incluso carbono, fósforo, nitrógeno y oligoelementos; en otras palabras, con su enorme apetito por los hidrocarburos, las bacterias literalmente se los comen y van limpiando el suelo. <sup>[11]</sup>

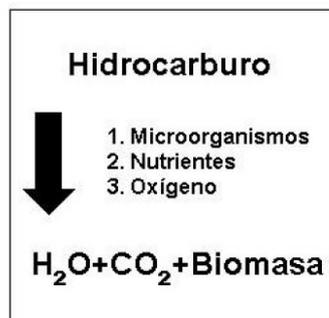


Figura (2.2) Principio del biotratamiento

### **2.6.2.2 Incineración.**

La incineración de residuos comenzó en Estados Unidos y Europa occidental en las décadas del 50 y el 60. Desde entonces, su desarrollo y expansión han sido importantes, como también sus efectos en el medio ambiente. <sup>[14]</sup>

El proceso de incineración, comienza con las fases previas, éstas son la recogida y transporte de los residuos. Generalmente, las plantas de incineración suelen tener un proceso de separación previo, con el fin de recuperar materiales para su posterior reciclaje. Este proceso se caracteriza por su ineficacia y por altos costos económicos, por ende su utilización es poco desarrollada. <sup>[14]</sup>

La incineración es un proceso de combustión en la que el contenido energético de los residuos es liberado en forma de calor, con la consiguiente formación de subproductos, tales como gases, sólidos y escorias.

Los residuos, antes de pasar al horno, pueden necesitar una homogeneización de manera de optimizar el proceso de combustión y el funcionamiento de la planta. El horno de parrillas es el más ampliamente utilizado para este proceso. En el proceso de combustión se obtienen fundamentalmente dos subproductos: las escorias (sólido recogido al pie del horno) y los gases. Las escorias pueden ser llevadas directamente a un vertedero, mientras que los gases son depurados con filtros o precipitadores electrostáticos que son capaces de atraer partículas contaminantes. <sup>[14]</sup>

Sin embargo, cabe señalar que ningún proceso en la naturaleza se desarrolla en un 100%. Por ello, en la incineración y coincineración, junto con las emisiones convencionales como monóxido de carbono, óxidos de

nitrógeno, ácido clorhídrico y dióxido de azufre, también se emiten normalmente otros compuestos que se generan como resultado de la combustión incompleta o que se forman como productos nuevos a partir de la reacción de oxidación.

Dentro de los contaminantes atmosféricos que se generan en los procesos de incineración y co-incineración nos encontramos con las dioxinas que son el contaminante más conocido asociado a los incineradores; causan gran variedad de problemas en la salud, incluyendo cáncer, daños al sistema inmunológico, y problemas reproductivos y en el desarrollo. Las dioxinas se biomagnifican, lo que significa que pasan a través de la cadena alimenticia, concentrándose en los productos a base de carne y lácteos y finalmente, en los humanos. <sup>[14]</sup>

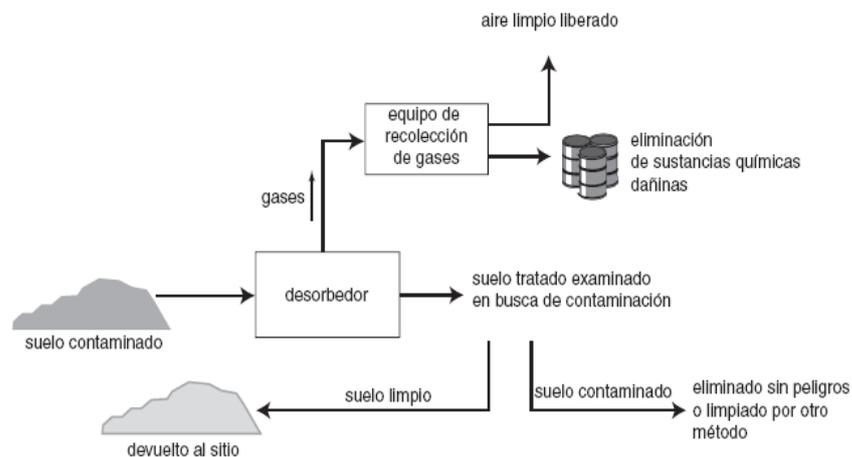
### **2.6.2.3 Desorción térmica**

Es un proceso térmico que consiste en calentar (90 a 600 °C) el suelo contaminado con agentes orgánicos con el fin de evaporizarlos y por consiguiente separarlos del suelo, es decir, para conseguir la desorción en vez de la destrucción de los contaminantes. Con esta técnica se puede tratar la contaminación producida por compuestos orgánicos volátiles (con un peso molecular no muy elevado, como los lubricantes, aceites minerales, gasolina, etc.) y determinados metales pesados volátiles como es el caso del mercurio. <sup>[8]</sup>

El suelo es acondicionado previamente y transportado a un horno rotativo tubular donde es calentado a temperaturas entre 90 y 600°C, debido a las altas temperaturas, se produce la desorción de los productos contaminantes que pasan a la fase gasificada. El paso de los contaminantes a la fase gaseosa es controlado, dirigiendo dichos gases a un sistema de tratamientos de gases

con el uso de un gas acarreador o un sistema de vacío, para posteriormente ser eliminados en una cámara de combustión o fijarlos sobre carbono activado.

El suelo limpiado es refrigerado, evacuado y reutilizado en múltiples aplicaciones tales como preparación de paisajes, cubrir depósitos, etc.; esto es posible ya que el suelo mantiene su estructura intacta debido a que la desorción de los contaminantes se realiza a temperaturas relativamente bajas. Estos métodos presentan el inconveniente de que el suelo queda completamente transformado, sin materia orgánica, microorganismos y disoluciones. Otras de sus desventajas son su alto costo de operación y la necesidad del uso de transporte por ser un método de tratamiento de ex situ. [8]



**Figura (2.3) Desorción térmica**

#### **2.6.2.4 Solidificación/estabilización (S/E).**

La S/E es un proceso en el que el suelo contaminado se mezcla con aditivos para inmovilizar los contaminantes, disminuyendo o eliminando la lixiviación. La solidificación se refiere a las técnicas que encapsulan (atrapan físicamente) al contaminante formando un material sólido, y no necesariamente involucra una interacción química entre el contaminante y los

aditivos solidificantes. La estabilización limita la solubilidad o movilidad del contaminante, generalmente por la adición de materiales como cemento, cal o polímeros, que aseguren que los constituyentes peligrosos se mantengan en su forma menos móvil o tóxica.

La S/E puede realizarse tanto in situ como ex situ. Para la S/E ex situ, el material contaminado a tratar debe transportarse de manera que sea dispuesto en un centro de acopio, y después de tratado ser devuelto al sitio original o dispersado en otro lugar. En la S/E in situ pueden utilizarse sistemas para cubrir los suelos contaminados sin necesidad de excavar, de manera que el material se deja en el mismo sitio.

### **2.6.3 Tecnologías de disposición de los desechos de perforaciones petroleras.**

#### **2.6.3.1 Relleno de seguridad.**

Un relleno de seguridad es una obra de ingeniería diseñada, construida y operada para confinar en el terreno residuos peligrosos. Consiste básicamente en una o varias celdas de disposición final y un conjunto de elementos de infraestructura para la recepción y acondicionamiento de residuos, así como para el control de ingreso y evaluación de su funcionamiento. <sup>[8]</sup>

Para ser considerado como un relleno de seguridad el mismo debe contar como mínimo con los siguientes elementos:

- Sistema de impermeabilización de base y taludes de doble barrera.
- Sistema de captación, conducción y tratamiento de lixiviados.
- Sistema de detección de pérdidas.
- Sistema de captación y conducción de gases.

- Elementos de control de ingreso de agua de lluvia por escurrimiento.
- Sistemas de impermeabilización para la clausura.

La evaluación de esta opción como sistema de destino final deberá tener en cuenta que el relleno cumpla con las condiciones mínimas de seguridad para manejar residuos peligrosos y que los residuos a disponer cumplan con las condiciones de aceptación. En caso de que no se cumplieran las mismas se deberá evaluar si existe la viabilidad de acondicionar los residuos, mediante un pre-tratamiento, a efectos de su cumplimiento. <sup>[8]</sup>

A diferencia de un relleno sanitario (que constituye una unidad de tratamiento y disposición simultánea), conceptualmente un relleno de seguridad representa un confinamiento a largo plazo. Su desventaja como método de disposición final radica en el hecho de la necesidad de la construcción de una obra de ingeniería civil, además de los riesgos que se pueden presentar tales como:

- Riesgos sobre la salud y el medio ambiente, los cuales dependerán de la peligrosidad de los residuos que se manejen, de las posibilidades de liberación de los contaminantes y de su transporte en el medio, así como de la vulnerabilidad del entorno y la exposición humana.
- Riesgo de liberación de contaminantes por lixiviación. Los lixiviados pueden infiltrar y ocasionar contaminación de suelos y aguas subterráneas.
- Otra forma de liberar contaminantes es por vía de la volatilización de sustancias tóxicas o emisiones de polvo. En ambos casos se produce el arrastre por acción del viento.
- Finalmente, otro riesgo es el contacto directo de las personas o animales con los residuos, por lo que se deberán establecer

condiciones seguras para los operadores y limitar el acceso a personas ajenas al emprendimiento, así como también impedir el ingreso de animales.

#### **2.6.3.2 Esparcimiento de suelos.**

Este método consiste en esparcir el material contaminado previamente tratado por cualquiera de los tipos de tratamientos antes expuestos sobre una superficie, a fin de darle una disposición final. La condición para la práctica de este método de deposición de desechos es que el material a esparcir se apege a los decretos ambientales, es decir, que su contenido de hidrocarburos y metales este dentro de las regulaciones establecidas. En ocasiones el esparcimiento de los desechos no tóxicos sobre los suelos va acompañado de la adhesión de fertilizantes para mejorar y estimular el crecimiento orgánico.

#### **2.6.3.3 Inyección profunda.**

Método de disposición final para desechos de las perforaciones petroleras que se basa en mezclar el ripio a fin de proporcionarle una matriz que pueda ser inyectada por una bomba, esta inyección se hace en pozos de petróleo no productores profundos. El material inyectado es depositado en los poros donde anteriormente estaba depositado el petróleo, en las arenas productoras; por tratarse de pozos profundos las capas de lutitas del sustrato proporcionan un sello natural para los desechos. Este método presenta desventajas tales como:

- Necesidad del transporte de los desechos desde el taladro al pozo de inyección.
- Su práctica en el país ha sido poco implementada, y las pocas pruebas realizadas han sido fallidas.

- Es crítica la regulación de la presión de las bombas de inyección, de lo contrario se puede producir ruptura de las capas de lutitas con su consecuente afloramiento a superficie.
- Como el ripio no es tratado previamente, se puede producir lixiviación hacia afluentes de agua que estén por debajo del pozo.

## **CAPITULO III**

### **ANTECEDENTES.**

#### **3.1 Introducción.**

El esfuerzo para la generación de la tecnología de inyección somera ha sido dirigido a minimizar el riesgo de impacto ambiental y garantizar la disposición segura de los residuos de perforación evitando la contaminación de los recursos naturales. A partir del año 1998 tras una serie de trabajos de investigación, pruebas de ensayo en recipientes de aproximadamente 40 litros, se inicia el estudio del comportamiento de los detritos cuando son mezclados con silicio y cemento e inyectados en arcilla, dando paso a las pruebas a menor escala en el laboratorio, durante estas pruebas se cambiaron los porcentajes de los componentes de la mezcla, observando su comportamiento hasta dar con la relación de mezcla más óptima, que fuese capaz de formar un bulbo estable física y químicamente.

En 1999, luego de haber efectuado los ensayos de laboratorio en 1998, se realizaron varias pruebas en el terminal portuario de Caripito, Monagas, con resultados exitosos. Las pruebas oscilaron entre 5 m<sup>3</sup> y 35 m<sup>3</sup> de material inyectado, en profundidades de formación de bulbos que variaron desde los 4 hasta los 9 m. Para el caso de un pozo de unos 4572 m (15.000 pies) de profundidad los rípios generados durante la perforación están entre 400 y 1000 m<sup>3</sup>, por esta razón, fue necesario realizar un siguiente paso en el escalamiento de la tecnología inyectando bulbos que permitieran almacenar al menos 150 m<sup>3</sup> de material para completar el desarrollo de la tecnología, es decir, establecer cuántos bulbos y a qué profundidad deben ser inyectados para manejar los residuos de un pozo como el mencionado.

En diciembre del 2000 se realiza exitosamente una prueba inyección con rípio artificial en San Lorenzo estado Zulia. La prueba de inyección del mortero artificial en arcillas someras contempló la inyección de un total de 4 bulbos distribuidos de la

siguiente manera: 2 a 9 m de profundidad, uno a 16 m de profundidad y uno a 35 m de profundidad. Los bulbos superiores separados unos 12 m centro a centro. Con los dos bulbos en la zona superficial del estrato (9 m) donde la resistencia es muy baja se buscó ajustar los parámetros que definen el espesor de suelo por encima del bulbo y los efectos de interacción entre bulbos cercanos. Con el bulbo ubicado a 16 m e inmediatamente por debajo de uno de los ubicados a 9 m se evaluó los efectos de interacción pero en sentido vertical. Por último, el bulbo a 35 m permitió examinar las condiciones de la inyección en arcilla dura.

En el 2001 se realizó una nueva demostración exitosa del producto con rípios Base Agua del pozo LS-5545 de Lagunillas-Tierra. En estas pruebas se midieron parámetros de los suelos tales como pH, cloruros, humedad, metales totales línea base suelo lagunillas, demostrando así con el éxito de estas pruebas la estabilidad físico-química de los bulbos.

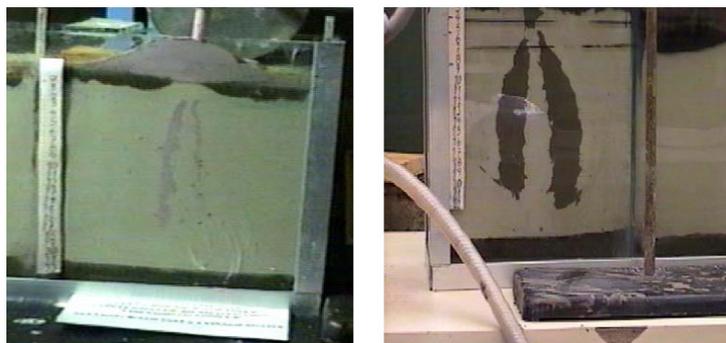
### **3.2 Fases del proceso y puesta en marcha de la tecnología de inyección somera.**

#### **3.2.1 Fase de laboratorio.**

La experimentación a escala de laboratorio se concentró en estudiar y desarrollar las condiciones bajo las cuales era posible inyectar desplazando el suelo receptor, sin producir fracturamiento hidráulico y propiciando por tanto la formación de bulbos subsuperficiales autocontenidos. Otra finalidad de las pruebas era evaluar los potenciales impactos que la inyección de rípios pudiera producir en suelos receptores de la región Deltana. Para el estudio de las condiciones de inyección se hicieron modelos a escala de laboratorio los cuales consistían en celdas de cristal reforzado donde se colocó una matriz receptora de caolinita normalmente consolidada bajo una sobrecarga de  $0,053 \text{ Kg/cm}^2$  durante un mes. El contenido de humedad de dicha matriz fue mantenido a saturación para emular condiciones equivalentes a las de campo. En estas celdas, con la ayuda de una

bomba de desplazamiento positivo, eran inyectadas matrices arcillosas de viscosidad y humedad variable. La viscosidad límite empleada en la pasta de ripio inyectada fue de 12500 cP medida con un viscosímetro Brookfield. Las presiones durante el proceso de inyección alcanzaron valores de 0.12 MPa (18 psi). Si la viscosidad era inferior a 12500 cP., no se lograba la formación del bulbo y se producía fracturamiento hidráulico y salida a la superficie.

El poder lograr la inyección sin salida a la superficie del material inyectado, controlando la viscosidad para una determinada condición de consolidación del suelo, dio lugar a la continuidad de todas las pruebas a escala de campo iniciadas en 1999. En la figura 3.1 se observa una prueba de inyección fallida con ocurrencia de fracturamiento hidráulico y otra exitosa evidenciándose la formación del bulbo.



**Figura (3.1) Pruebas de inyección a escala banco en modelo de caolinita saturada normalmente consolidada. A la izquierda experiencia fallida con afloramiento de la mezcla a superficie. A la derecha inyección exitosa con formación de bulbo.**

A los fines de estimar la dispersión de contaminantes desde la masa de ripios inyectados hacia el suelo receptor, se realizó un modelaje de la difusión de fracciones solubles de componentes presentes en los ripios y de Rodamina WT un trazador comercial específico para aguas subterráneas. Primero fue necesario definir en campo las zonas de experimentación y captar matrices de suelos en

cantidad suficiente para las pruebas de laboratorio. Las zonas fueron definidas en base a:

- Su representatividad respecto a las condiciones generales de la región para permitir extrapolación de resultados.
- Facilidades logísticas de acceso y transporte avizorando las futuras pruebas de escalamiento.
- Cercanía a una base logística y de operación y/o a un centro poblado para apoyo en caso de emergencias, disponibilidad de mano de obra y factibilidad de custodia del área experimental. <sup>[5]</sup>

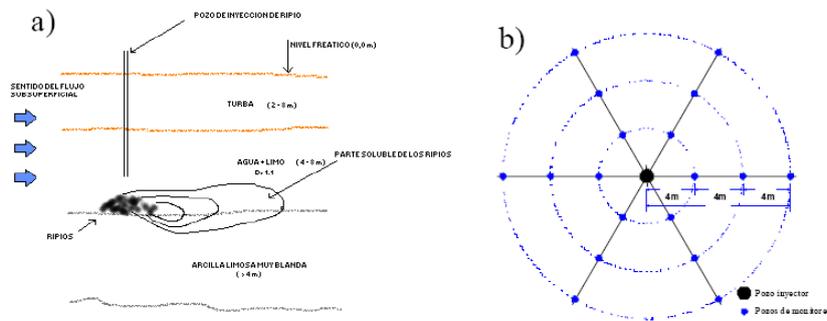
### **3.2.2 Pruebas Industriales.**

#### **3.2.2.1 Inyección en áreas pantanosas de la reserva Forestal del Guarapiche (Región Deltana del Orinoco).**

La localidad seleccionada durante las inspecciones y muestreo realizados entre marzo y octubre de 1998, era un área permanentemente inundada, con suelos de turbera del orden Tropofibrihist (Histosol), presentando en la superficie un estrato de 1 - 1,5 m de espesor constituido por un entramado de raíces y fibras vegetales, con baja descomposición del material orgánico. El estrato subyacente, presenta fibras más descompuestas y friables, menos resistentes a la ruptura por tensión, yendo hasta un material de textura pastosa, con materia orgánica degradada. Este estrato continua hasta la arcilla a una profundidad de 5,5 - 6m. <sup>[17]</sup>

A una profundidad de 6m en esta turbera se realizaron las pruebas de inyección. En la figura 3.2 a) se ilustra el mecanismo hipotético de dispersión de contaminantes (advectiva + difusiva) producto de la inyección de los rípios. En la figura 3.2 b) se presenta la ubicación de pozos monitores para el

seguimiento periódico de parámetros de calidad de agua alrededor de los puntos de inyección. [17]



**Figura (3.2).** a) Modelo hipotético de la difusión/advección de los componentes solubles b) Esquema del emplazamiento de pozos de monitoreo alrededor de cada pozo de inyección de ripios.

La operación se realizó en "lotes" de 500 lts., con viscosidad aproximada de 8000 cP., adicionando Rodamina WT como trazador. Durante la inyección no se presentó salida del material en superficie. Los ripios utilizados fueron respectivamente:

- Inyección 1 Lutitas de la formación Carapita (El Furrial, pozo FCU-34) impregnada con fluido de perforación Greenoil.
- Inyección 2 Arenisca de la formación Mesa impregnadas con fluido aquagel-lignosulfonato, provenientes del mismo pozo.

Los puntos seleccionados se ubicaron en la transecta según se observa en la figura 3.3. Un resumen de los resultados de las campañas de monitoreo realizadas desde 1999 se presenta en la tabla 3.1. Como se observa no existen cambios a destacar en casi todos los parámetros evaluados. En cuanto a la salinidad, PH y sólidos disueltos totales (TDS) hay cambios estacionales y espaciales. Alrededor del inyector 1 hay variables con valores de línea mayores antes de inyectar, debido a la variación espacial o por la mayor cercanía al caño

de marea, que transporta agua salobre desde el Golfo de Paria, pues se presentan mareas bidiurnas de aproximadamente 2 m de fluctuación.



**Figura (3.3) Puntos de inyección 1 y 2**

La rodamina WT es un trazador de uso común para el estudio de patrones de dispersión de contaminantes en agua, para el seguimiento de filtraciones en presas y para evaluaciones y monitoreo de fenómenos de difusión y advección en cuerpos de agua en general. Las técnicas analíticas cuantitativas disponibles permiten su detección en concentraciones en el rango de partes por billón (ppb) mediante la técnica de fluorimetría, en función de la curva de calibración que mejor ajuste durante el protocolo de cuantificación.

El monitoreo de la difusión potencial de elementos presentes en gran cantidad en los ríos como es el caso del Bario y del Zinc. Para el Bario no se evidenció cambio en su concentración, aún en un medio anaeróbico con potenciales redox negativos y bacterias sulfato reductoras que favorecen la formación de especies solubles del elemento.

El Zinc es el único elemento que presentó incremento de concentración de relevancia, a lo largo de los 5 años de monitoreo. La solubilidad del zinc depende de diversas propiedades:

- Incrementa con la reducción de PH, con el aumento de cloruros (el  $ZnCl_2$  es altamente soluble en agua) y con la reducción de la dureza del agua.
- A temperatura ambiente y PH 7 la concentración de  $Zn^{+2}$  es de 290 ppm, si el PH se eleva a 8, su concentración de equilibrio se reduce a 2,9 ppm.
- En un ambiente orgánico donde los hidróxidos ( $OH^-$ ) son consumidos, se debería por lo tanto esperar una concentración elevada de Zinc. Es así como en la línea base (tabla 3.1) este elemento está presente en una cantidad de 23,4 ppm, por sobre el límite considerado adecuado para consumo humano en Venezuela (5ppm, Decreto 883). Es importante destacar que los rипios de perforación fueron inyectados en la turbera en una lechada viscosa sin la adición de ningún tipo de agente estabilizante.

**Tabla (3.1) Comportamiento en 5 años de monitoreo de parámetros fisicoquímicos y metales pesados en pozos monitores alrededor de puntos de inyección de rипios en turberas inundadas de Guanaco, Estado Sucre.**

		Cond	Sal	TDS	pH	Ba	Cd	mg/L		Pb	Se	Ag	Zn
		mS/cm						Cr	Ni				
Línea Base		8,2	4,6	5,3	6,4	42,3	< 0,7	14,67	-	9,9	-	< 1	23,4
Greenoil	Ago-99	8,1	4,5	5,1	6,5	-	-	-	-	-	-	-	-
	Mar-00	8,3	4,2	4,9	6,9	0,4	< 0,02	< 0,02	< 0,1	< 0,1	< 0,5	< 0,1	-
	Jul-00	4,1	2,3	2,6	6,9	0,3	-	< 0,05	< 0,1	< 0,05	< 0,2	< 0,1	86,5
	Mar-04	7,9	4,4	5	6,5	-	< 0,02	< 0,05	< 0,1	< 0,05	-	< 0,1	-
Lignosulfonato	Ago-99	9,5	5,4	6,1	6,6	-	-	-	-	-	-	-	-
	Mar-00	7,9	4,4	4,6	7,2	0,58	1,68	0,69	< 0,1	< 0,05	-	-	48,1
	Jul-00	7,1	4	4,5	6,8	0,3	< 0,02	< 0,05	< 0,1	< 0,1	< 0,2	< 0,1	74,3
	Mar-04	7,3	4,1	4,7	6,5	0,19	< 0,02	< 0,05	< 0,1	< 0,05	< 0,2	< 0,2	85,0

Los resultados demostraron:

- Que los valores de Ba, Cr, Pb es mayor en la línea base que en los muestreos subsiguientes, lo cual evidencia posibles fallas en el control de calidad del muestreo y/o análisis.
- El papel preponderante del ambiente receptor en la solubilización, transformación y/o secuestro potencial de los contaminantes.

- La necesidad de estabilizar o encapsular los materiales antes de exponerlos al ambiente. <sup>[5]</sup>

### 3.2.2.2 Inyección en suelos arcillosos blandos en Caripito (Estado Monagas).

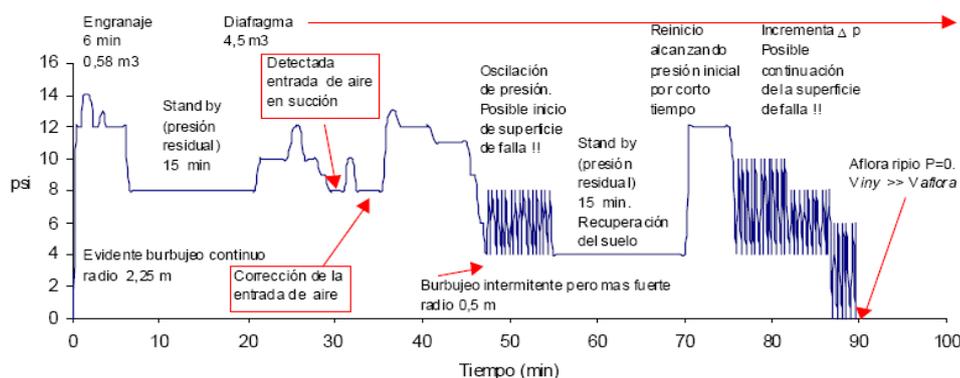
En estas pruebas fue importante definir las condiciones de operación adecuadas (humedad, viscosidad) que garantizaran la formación de bulbos, evitando la salida del material, utilizando la menor energía posible en los sistemas de bombeo. El esquema de equipos empleado consistió de un tanque de mezclado de ripios y aditivos, un sistema de pesado, equipos de bombeo y la colocación de varios pozos de inyección con tuberías de 15.2cm (6 plg) a diversas profundidades de experimentación. <sup>[5]</sup>

Para la preparación de la mezcla se utilizaron ripios base agua, complementados con ripios base aceite vegetal. Al agotar los ripios trasladados al sitio en tambores de 200 l, se usaron también morteros de arena cemento para seguir experimentando las condiciones de inyección. En el Terminal de Caripito fueron hechas 6 inyecciones a 4 profundidades, inyectando un total de 71 m<sup>3</sup> entre ripios estabilizados y morteros de arena-cemento. Estas experiencias se resumen en la Tabla 3.2.

**Tabla (3.2) Experiencia de inyección en suelos blandos arcillosos de Caripito.**

Inyecciones	Volumen m3	Prof. (m)	Tipo de Material	Comentario
2	4.5	4.5	Ripios	Formación de grietas y afloramiento en superficie
2	6	6	Ripios	”
1	15	9	Ripios	Abultamiento en superficie, Sin afloramiento
1	35	8	Arena cemento	“
Total = 6	71			

En la Figura 3.4 se presenta el comportamiento de la presión a lo largo de una de las pruebas a 4,5 m de profundidad, involucrando cambios en los sistemas de bombeo. Destaca que la energía utilizada para romper la estructura original del suelo es muy baja y se hace menor durante el desarrollo de la prueba. Por otro lado, el comportamiento de la presión se pudo correlacionar con lo que ocurría en el subsuelo y en la superficie.



**Figura (3.4) Comportamiento de la presión a lo largo de la experiencia de inyección en arcillas blandas a 4,5 m de profundidad con cambios secuenciales en el sistema de bombeo.**

Lo más relevante en esta fase del desarrollo, desde el punto de vista operacional, pudiera resumirse en tres hallazgos:

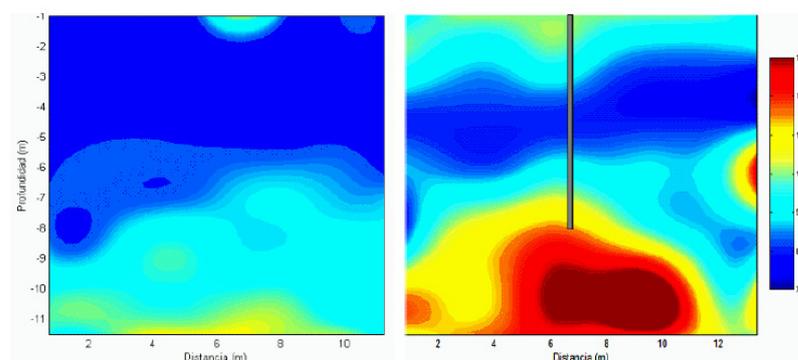
- La imposibilidad de inyectar mezclas de viscosidad inferior a 30.000 cP., viscosidad por debajo de la cual se producían fallas y salida en superficie.
- Limitaciones de las bombas de impulsor centrífugo e inyección con equipos de desplazamiento positivo a baja presión.
- La imposibilidad de inyectar con bombas de engranaje (trabado del equipo al haber gránulos en la mezcla).

La geometría del material inyectado fue verificada mediante una prueba geofísica que permite hacer una tomografía sísmica del objeto de interés en el subsuelo. La técnica consiste en colocar verticalmente desde la superficie hasta el subsuelo tubos paralelos equidistantes al objeto de estudio en los que se

colocan una fuente de ondas de corte y geófonos, conectados a un recolector de datos. Los instrumentos son activados progresivamente a cada 1 m de profundidad, hasta alcanzar en nuestro caso 12 m. [5]

En la Figura 3.5 se muestran las imágenes tomográficas obtenidas del terreno natural (antes de inyectar) y luego de la inyección. Los colores representan isolíneas de velocidades de propagación de ondas de corte. Al correlacionarse, permiten revelar el bulbo formado por el material inyectado en el subsuelo. Se observa claramente un patrón ovalado de la zona de inyección del ripio, entre los 9 m y 11 m aproximadamente con respecto al eje horizontal y una velocidad de 130 m/s debido a la densificación. La generación de contraste debido al diferencial de velocidades de propagación entre el material inyectado y el suelo blando circundante ( $N_{SPT} < 2$  golpes/pie) permitió una excelente resolución de la forma del bulbo.

Como comprobación adicional se hizo un Ensayo Normal de Penetración (SPT) con recuperación continua de muestras atravesando el bulbo, lo que permitió verificar a que profundidad se encontraban los topes superior e inferior. Tales resultados fueron conclusivos acerca de la geometría del bulbo. Dada la singularidad del desarrollo y la inexistencia de arte previo a escala mundial, se dio inicio a su protección intelectual obtenida en el 2002 mediante US Patent 6491100. [5]



**Figura (3.5) Tomografías en suelo natural (izquierda) y después de la inyección (derecha).**

Los resultados del monitoreo del contenido de metales pesados y algunos cationes en aguas subterráneas para el año 2005 cinco años después de las inyecciones, se muestran en la Tabla 3.3. Como se observa, los diversos parámetros evaluados se encuentran en rangos de concentración no muy diferentes a los encontrados en los pozos control. El trazador Rodamina WT, al igual que en el caso de la inyección en las turberas, fue de utilidad durante el primer año de evaluación y no fue detectada para el año 2005.

**Tabla (3.3) Contenido de metales pesados y algunos cationes en pozos de monitoreo de aguas en Caripito (mg/l)**

Pozos	Ba	Pb	Zn	Ca	K	Mg	Na
Control 1	0.24	< 0.05	0.9	202	42.4	188	1096
Control 2	1.9	< 0.05	< 0.02	320	25.5	0.6	453
PM1	0.64	< 0.05	0.1	266	17.8	113	696
PM1	0.37	< 0.05	0.51	238	15	91.1	474
PM3	0.45	< 0.05	0.22	229	14.2	91.1	498
P1	0.55	0.21	0.27	208	31.3	122	718
P2	1.82	< 0.05	0.5	306	24.2	0.55	441
P3	0.28	0.07	0.46	139	72.1	245	1724
P5	0.24	< 0.05	0.33	196	41.4	179	< 0.05

Cd y Cr < 0,02 mg/l Ni y Ag < 0,05 mg/l Hg < 0,5 ug/l Rodamina < 5 ug/l

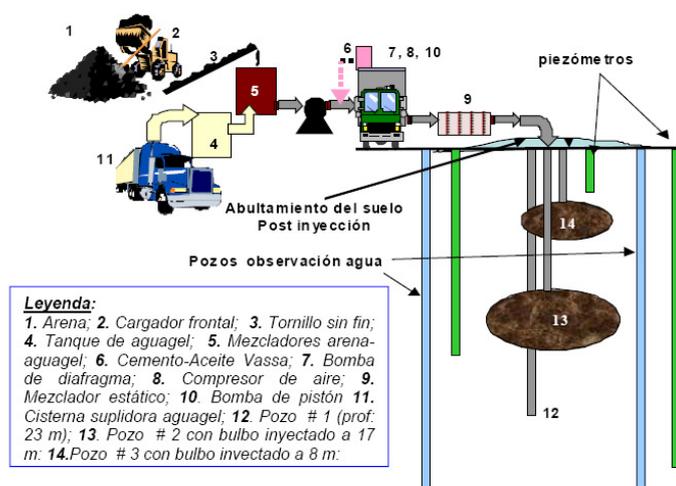
En el año 2005 también se realizó un muestreo del material inyectado a los fines de evaluar su estabilidad y consolidación. En estos ensayos se determinó la conductividad hidráulica en núcleos extraídos del bulbo, encontrando valores inferiores a  $1,2 \cdot 10^{-9}$  cm/seg., equivalentes a las de un concreto. Con ello se demostró que el desecho es estable 6 años después de haber sido inyectado. [5]

### 3.2.2.3 Inyección de mortero arena-cemento-arcilla en San Lorenzo (Estado Zulia).

En el Lago de Maracaibo, debido al alto costo de transporte de los ripios para su tratamiento en tierra firme, podría existir una aplicabilidad potencial requiriéndose su comprobación experimental. Por las dificultades de desarrollar una ingeniería para la operación de la prueba desde una gabarra, se orientaron

las actividades hacia la Costa Oriental del Lago de Maracaibo en el Estado Zulia. Allí fue seleccionada un área no utilizada en el patio de tanques de la Planta de Distribución de Combustibles de San Lorenzo. <sup>[7]</sup>

Por la presencia de un acuífero que surge a la población aledaña de San Timoteo, se acordó con el Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales realizar las pruebas con un mortero arena -cemento adicionado de aceite mineral (parafinas lineales sin aromáticos) y Rodamina TW como trazador, para emular las características reológicas de los ripios, eliminando riesgos de contaminación del recurso hídrico. El esquema general de equipos utilizados en San Lorenzo se presenta en la Figura 3.6. Fueron colocados 3 pozos inyectores a 3 diferentes profundidades de los cuales fueron utilizados el de 8 y el de 17 m, quedando el de 23 m disponible para una futura prueba. <sup>[7]</sup>



**Figura (3.6) Esquema de equipos utilizados y disposición de pozos de monitoreo en la prueba de inyección somera en San Lorenzo**

El perfil geotécnico del lugar donde se realizó las pruebas de San Lorenzo se presenta en la figura 3.7. Como se observa, luego de una capa superficial de arena y limo de 1,5 m de profundidad, dicho perfil está compuesto predominantemente por arcillas con trazas de turba, arena fina y limo. Este material arcilloso se constató hasta una profundidad de 45 m y debe servir de

confinamiento a un acuífero explotable existente en el área, cuyos pozos productores se encuentran entre los 55 y los 60 m de profundidad. [7]



Figura (3.7) Perfil geotécnico en el sitio de prueba de San Lorenzo

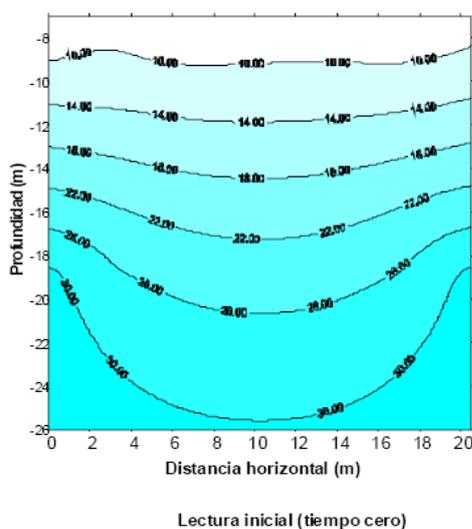
La Tabla 3.4 presenta los volúmenes inyectados en cada pozo para cada profundidad y las características del suelo receptor. Es evidente que con el incremento de la profundidad se presenta una mayor dureza del suelo en términos de la resistencia a la penetración ( $N_{SPT}$ ) y del esfuerzo al corte no drenado ( $S_u$  kg/cm<sup>2</sup>), siendo estos suelos mucho más duros que los presentes en Caripito lo cual permitió ampliar las condiciones geotécnicas de inyección. Es importante señalar que solo fueron inyectados 50 m<sup>3</sup> a 17m por limitaciones en la disponibilidad de los materiales para la preparación del mortero y no por condiciones operacionales.

Tabla (3.4) Experiencias de inyección Somera en San Lorenzo

Volumen (m <sup>3</sup> )	Profundidad (m)	Descripción del estrato	$N_{SPT}$ (golpes/pié)	$S_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
14	8	Arcilloso gris oscuro	4	0.15 - 0.2
50	17	Arcilloso de alta plasticidad	5-8	0.25 - 0.40
-	23	Arcilloso de alta plasticidad	17-24	0.80- 0.90

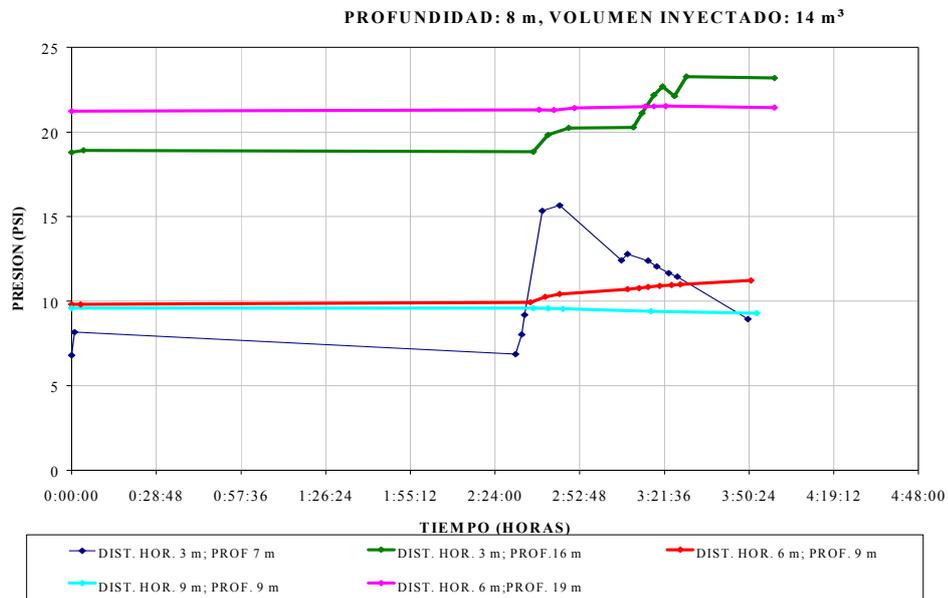
Como un efecto directo de la inyección se observó un levantamiento del suelo y la formación de grietas superficiales. Durante la prueba de inyección a 8 m se produjo un breve afloramiento de la mezcla lo cual fue corregido por la espera para la recepción e inyección del siguiente lote (sellado de la fractura) y por un incremento de la viscosidad del material que continuó inyectándose. Las pruebas fueron totalmente instrumentadas, incluyendo la medición de presiones en la línea de inyección, presiones de poros en el subsuelo mediante la colocación y registro de piezómetros de cuerda vibrante y el levantamiento topográfico del área antes y después de las inyecciones. [5]

En la Figura 3.8 se muestra un perfil entre 7 y 26 m, con las presiones de poro iniciales (diciembre 2001) antes de las inyecciones. Durante la inyección, como era esperado, se incrementó las presiones de poro a medida que se realizaba la inyección, manteniéndose altas durante algún tiempo. [5]

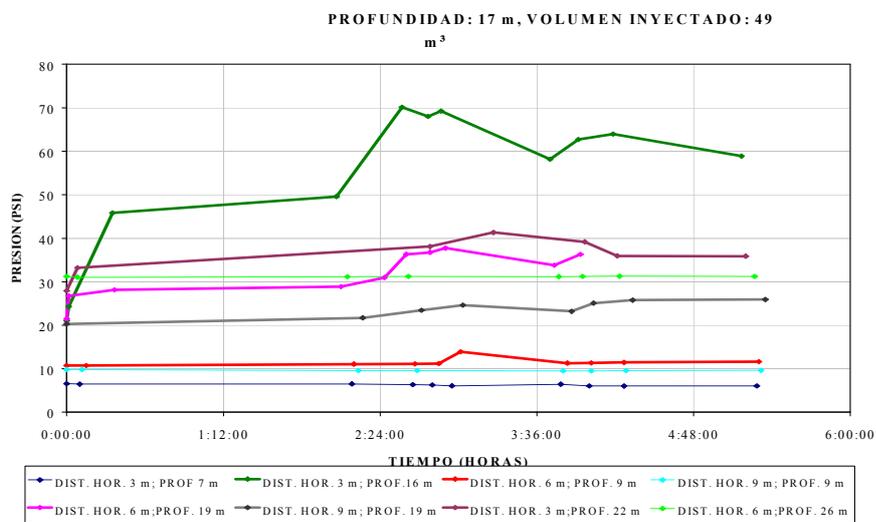


**Figura (3.8) Presión de poros (psi) en el suelo antes de la inyección**

En las Figuras 3.9 y 3.10 se ilustran las mediciones individuales de cada piezómetro durante las dos inyecciones.



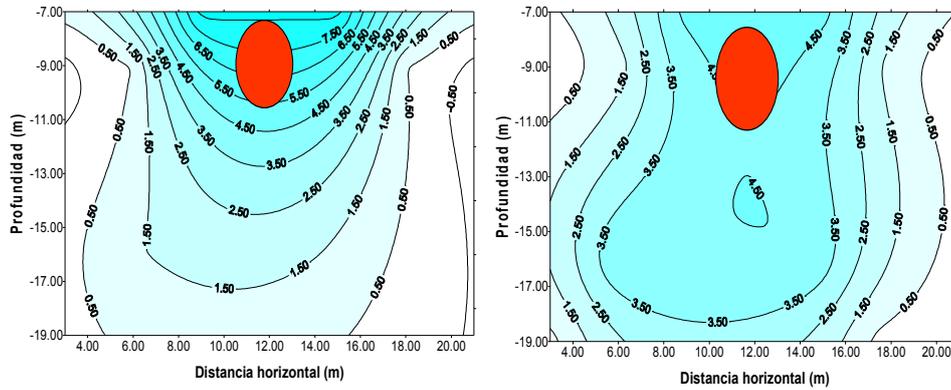
**Figura (3.9) Mediciones con los piezómetros durante la inyección del bulbo a 8 m de profundidad.**



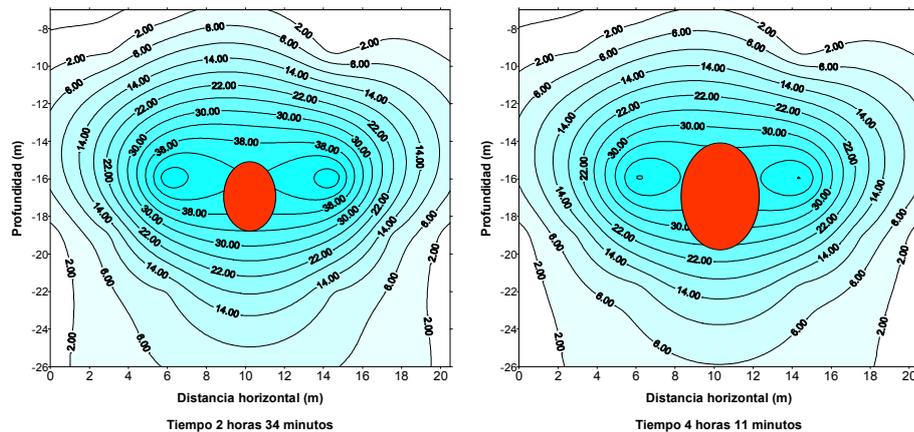
**Figura (3.10) Mediciones con los piezómetros durante la inyección del bulbo a 17 m de profundidad.**

A medida que avanza la inyección de los bulbos va aumentando la presión de los poros en el suelo como se observa en las figuras 3.11 y 3.12. No obstante la presión en el bulbo al final del proceso fue igual a la presión

geoestática (densidad del material inyectado por la altura de la columna hidrostática), la cual fue menor a la registrada en los piezómetros pues el inyector quedó abierto a la presión atmosférica. [6]



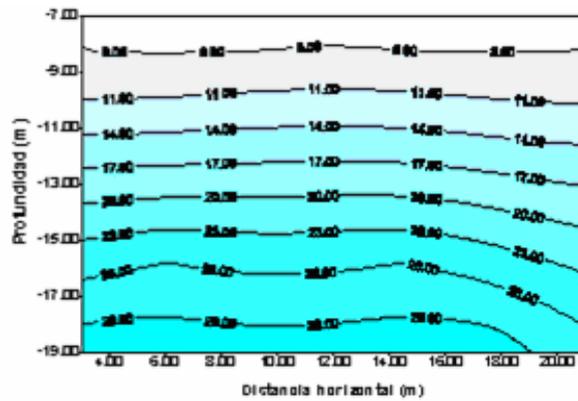
**Figura (3.11) Incremento de las presiones de poros por encima de las condiciones iniciales durante la inyección para el bulbo a 8 m de profundidad.**



**Figura (3.12) Incremento de las presiones de poros por encima de las condiciones iniciales durante la inyección para el bulbo a 17 m de profundidad.**

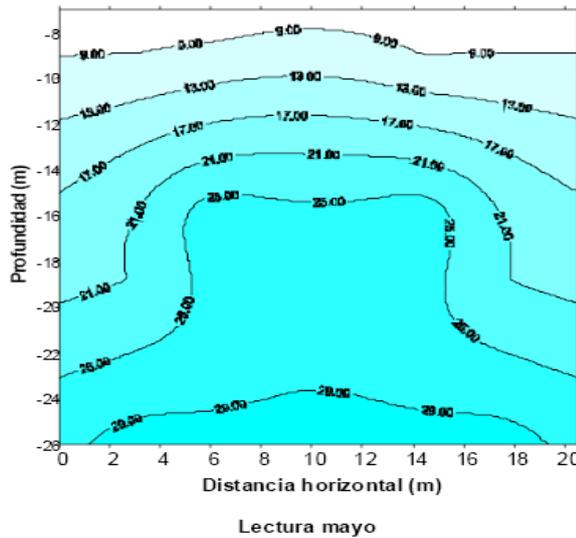
Luego de 20 semanas (mayo de 2002) de la inyección de los bulbos a 8 y 17 m de profundidad se observó en la distribución de presión de poros del suelo una disminución clara, manteniéndose sin disipar las presiones residuales como se muestra en la figura 3.13 y 3.14. Estos resultados demuestran la existencia de un gradiente inverso de presiones que imposibilita la migración de

contaminantes, entretanto ocurre el proceso de fraguado y estabilización de los materiales inyectados.



Mayo 2001, después de 20 semanas.

Figura (3.13) Presión de poros (psi) en el suelo 20 semanas después de la inyección a 8 m de profundidad.

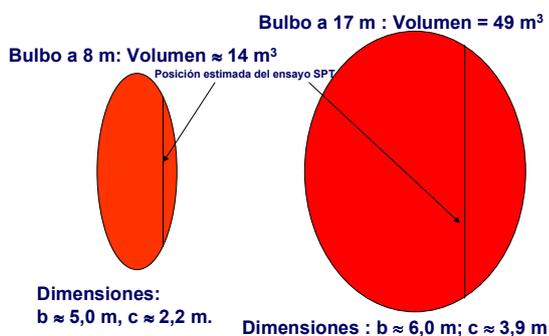


Lectura mayo

Figura (3.14) Presión de poros (psi) en el suelo 20 semanas después de la inyección de 50 m<sup>3</sup> de mortero arena cemento a 17 m de profundidad.

Una vez completada la inyección de los bulbos, se verificó la formación de ambos (8 y 17 m de profundidad) mediante ensayos SPT, cuyos resultados se resumen en la Figura 3.15. Como se observa, la forma de los bulbos es

alargada por el eje vertical debido a la dureza del material encontrado en el suelo. [6]



**Figura (3.15) Dimensiones finales de los bulbos inyectados a 8 y 17 m de profundidad. El volumen de un elipsoide de revolución:  $\frac{4}{3} \pi (c/2)^2 (b/2)$ , donde: b, es el eje mayor y c, es el eje menor.**

En la Tabla 3.5 se presentan los resultados del análisis de metales pesados, grasas, aceites e hidrocarburos solubles en las aguas de los pozos de monitoreo. El mortero fue adicionado de 4% p/p de aceite mineral. No obstante los niveles encontrados en los diferentes pozos de monitoreo son inferiores a 3 ppm, incluido el pozo SL4, muy próximo al bulbo, por lo que los valores probablemente corresponden a la línea base de una instalación de refinación con procesamiento de hidrocarburos por largos años.

El trazador Rodamina WT se encontró en todos los casos en valores inferiores a 20 ppb, lo que sugiere que no ha habido migración o que pudo haberse degradado para el muestreo en enero del 2005. [5]

**Tabla (3.5) Metales pesados, grasas y aceites, hidrocarburos solubles totales (HC) y Rodamina en pozos monitores en pruebas de inyección de mortero bentonita – arena – cemento.**

	<i>Ba</i> (mg/l)	<i>Cd</i> (mg/l)	<i>Cr</i> (mg/l)	<i>Ni</i> (mg/l)	<i>Ag</i> (mg/l)	<i>Pb</i> (mg/l)	<i>Hg</i> (mg/l)	<i>HC</i> (mg/l)	<i>GyA</i> (mg/l)	<i>Rodamine</i> (ppb)
Control	0,06	< 0,02	< 0,02	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,0005	1,2	< 0,5	< 20
1 (SL1)	0,10	< 0,02	< 0,02	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,0005	1,8	1,2	< 20
2 (SL2)	0,10	< 0,02	< 0,02	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,0005	1,2	< 0,5	< 20
3 (SL3)	0,14	< 0,02	< 0,02	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,0005	1,9	1,8	< 20
4 (SL4)	0,12	< 0,02	< 0,02	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,0005	3,0	1,4	< 20

#### **3.2.2.4 Inyección de ripios del pozo somero en Lagunillas (Estado Zulia).**

El sitio seleccionado para la última prueba hasta ahora realizada, fue El Polvorín (Distrito Lagunillas), localización BYM-7F-1 con la inyección de los ripios del pozo LS-5545. En el área existen pequeños acuíferos someros no aptos para consumo humano a profundidades por debajo de 170 m. En las inmediaciones del sitio de inyección los estratos están constituidos por limos arcillosos y arcillas de baja plasticidad hasta la profundidad de los acuíferos aprovechables. Los primeros 9 metros del perfil geotécnico contienen materiales blandos en los cuales se realizó la inyección. Al igual que en las anteriores pruebas de campo se colocaron pozos para el monitoreo de aguas subterráneas, se realizó un ensayo Cross Hole, se hicieron mediciones de la presión de poros a lo largo de la prueba y se realizó un levantamiento topográfico antes y después de la inyección. <sup>[4]</sup>

El pozo LS-5545 se perforó verticalmente y generó unos 31 m<sup>3</sup> de ripios los cuales fueron desecados reduciéndose a unos 16 m<sup>3</sup>. Luego fueron mezclados con varios aditivos en un equipo apropiado para la mezcla de sólidos. Este primer tratamiento produjo un aumento aproximado de un 20% llegando a un volumen de 19 m<sup>3</sup>. El material resultante fue apilado en varios montones para permitir su solidificación y adecuada distribución granulométrica. El producto resultante fue inyectado entre 5,6 y 9 m de profundidad, donde existían las condiciones de compacidad del suelo adecuadas para esta prueba. <sup>[4]</sup>

Los resultados analíticos de las pruebas de Lixiviación Estándar (TCLP) aplicado a los diferentes materiales tratados para la inyección demostró que ninguno de los parámetros normados sobrepasaba los límites permisibles del Decreto 2635 que norma el manejo de los materiales peligrosos en Venezuela.

El análisis periódico de aguas en pozos monitores ha revelado la no alteración de los parámetros evaluados respecto a la línea base, como puede observarse en la Tabla 3.6. Del mismo modo el análisis del trazador Rodamina WT ha mostrado niveles por debajo de los límites de cuantificación de la técnica por fluorometría (5 ppb).<sup>[4]</sup>

**Tabla (3.6) Parámetros de calidad de aguas en pozos monitores en la inyección de rípios del pozo LS-5545, Lagunillas Estado Zulia.**

<i>Pozo Nro.</i>	<i>Sal (mg/l)</i>	<i>pH</i>	<i>CE (mS/cm)</i>	<i>Ba (mg/l)</i>	<i>Cd (mg/l)</i>	<i>Cr (mg/l)</i>	<i>Ni (mg/l)</i>	<i>Pb (mg/l)</i>
Testigo	6,2	7,3	11,9	0,025	< 0,02	< 0,02	< 0,05	< 0,05
P1	6,3	6,7	12,9	0,070	< 0,02	< 0,02	< 0,05	< 0,05
P3	6,7	5,4	13,0	0,021	< 0,02	< 0,02	< 0,05	< 0,05
P4	5,7	6,2	13,5	0,028	< 0,02	< 0,02	< 0,05	< 0,05

## **CAPITULO IV**

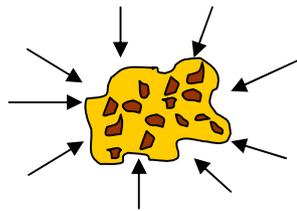
### **METODOLOGIA**

#### **4.1 Descripción del proceso de inyección somera y equipos necesarios.**

La tecnología de Doble Encapsulado Granulado de Ripios Inyección Somera (DEGRINS<sup>TM</sup>), nace con la finalidad de brindar una alternativa de tratamientos de ripios producto de las perforaciones petroleras, ajustándose en el marco del Decreto 2635 publicado en Gaceta Oficial Extraordinaria N° 5245 del 3 de agosto de 1998 y que contempla las normas para el control de la recuperación de materiales peligrosos y el manejo de desechos peligrosos. El desarrollo de la misma ha sido el producto de diversas pruebas que van desde etapas de laboratorio hasta ensayos a escala real, buscando de esta manera la integración de variables geotécnicas, hidráulicas, geoquímicas y ambientales, que permitan predecir el comportamiento bajo diversos escenarios, a fin de optimizar al máximo la tecnología DEGRINS<sup>TM</sup>. Los aspectos clave que han inspirado su desarrollo han sido:

- Generar una alternativa segura para cuando no puedan, por razones técnico/económicas, ser implementadas otras prácticas de manejo de desechos.
- No afectar la utilización del suelo superficial para otras actividades de la sociedad, no impactar biota y acuíferos aprovechables para el consumo humano y actividades agrícolas, respetando la capacidad de carga de los ecosistemas y soportando de modo práctico la aplicación de principios para un desarrollo sustentable.
- Regresar los desechos al subsuelo inmediato, en la medida de lo posible, dentro del tiempo en que se desarrolla la perforación.
- Eliminar la necesidad de transporte del desecho y evitar la afección de otros ambientes (incremento indiscriminado de centros de acopio y disposición).

Para poder realizar la tecnología DEGRINS™ se deben llevar a cabo una serie de pasos, cada uno de los cuales cumple con un objetivo específico dentro del proceso. En una primera fase se necesita tomar el ripio proveniente de los equipos de manejo de sólidos y agregarle unos aditivos durante un proceso de mezclado, el resultado será la formación de gránulos bien solidificados los cuales cada uno de ellos forma una microesponja o tamiz mesoporoso que absorbe el material contaminante creando una especie de capsula a nivel nanométrico. Toda esta primera fase tiene como principal objetivo ajustar el ripio al marco del decreto 2635. Es importante destacar que esta tecnología permite el tratamiento de desechos producto de perforaciones tanto con lodos base agua como con lodos base aceite, regulando los aditivos y sus respectivas proporciones.



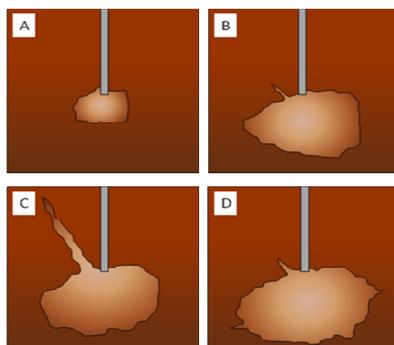
**Figura (4.1) Representación de la microesponja y la absorción del material contaminante.**

Culminada la primera etapa del proceso, se procede a un segundo mezclado con el fin de obtener una matriz que posea la viscosidad adecuada para su posterior inyección en los estratos someros < 50 m de profundidad. Es importante destacar que la viscosidad va en función de las condiciones del suelo en donde se va a realizar la inyección, una matriz sumamente viscosa evita que los equipos trabajen con facilidad además de incrementar el consumo de energía en los mismos, por otro lado, si la matriz es poco viscosa se pueden crear afloramientos en la superficie. Esta propiedad se puede regular variando las proporciones de los aditivos en la etapa final del mezclado.

Una vez realizada esta segunda etapa se procede a efectuar la inyección. La matriz pasa por una bomba la cual empuja la mezcla que a su vez desplaza el suelo receptor a medida que progresa la inyección, creando un bulbo el cual es modelado

como una esfera, esto no es del todo cierto ya que la resistencia del suelo varía con respecto a la dirección. Dicho bulbo debe ser tanto física como químicamente estable a fin de evitar la migración de los agentes contaminantes previamente tratados, el objetivo en esta etapa es crear un segundo encapsulamiento que sirva en primer lugar como disposición del ripio y además garantice el resguardo del mismo.

La inyección debe ser controlada, por lo tanto es necesario colocar una serie de equipos como lo son inclinómetros, piezómetros, manómetros, entre otros. El comportamiento de la presión durante la inyección es fundamental ya que refleja cualquier problema que se pueda presentar, un ejemplo de ello es una caída brusca en la misma debido a la generación probable de una fisura en el estrato evitando que se continúe con la creación del bulbo, ya que de seguir se puede provocar un afloramiento en la superficie, la solución en este caso sería parar la inyección por un determinado lapso de tiempo a fin de que la mezcla encontrada en el intersticio fragüe sellando así la fisura; si es necesario se procede a variar la dosificación y se continua con la inyección, en la figura 4.2 se aprecia los distintos escenarios.



**Figura (4.2) A- Se comienza la inyección y generación del bulbo. B- Ocurre disminución brusca de la presión, producto de la formación de una grieta. C- Se continúa con la inyección, la grieta aumenta hasta llegar a la superficie. D- Se regulan los tiempos de inyección y la dosificación de la matriz a fin de crear el bulbo con el volumen deseado.**

Una vez concluida la inyección, la matriz inyectada a medida que transcurre el tiempo comienza a solidificarse como resultado de la mezcla elaborada cemento,

agua y los gránulos obtenidos en la primera etapa. Esta mezcla tiene su analogía con el concreto, en donde el papel del árido (grava, gravilla o arena) lo cumple el material obtenido de la primera fase y la parte activa pegamento la forma el cemento en combinación con el agua.

La cantidad de aditivos y sus respectivas proporciones fueron estudiadas en ensayos de laboratorios para cierta cantidad de masa de ripio; con las densidades correspondientes se determinó el volumen por componente usado en las pruebas, para ello fue utilizada la ecuación (4.1) y los resultados obtenidos se reflejan en las tablas 4.1 y 4.2 (los nombres de los aditivos se muestran de manera general por razones de confidencialidad en cuanto a la tecnología):

$$V_{Ad} = \frac{m_{Ad}}{\rho_{Ad}} \quad \text{En donde;}$$

(4.1)

V<sub>Ad</sub>= Volumen del aditivo.  
m<sub>Ad</sub>= Masa del aditivo.  
ρ<sub>Ad</sub>= Densidad del aditivo.

**Tabla (4.1) Formulación de aditivos para lodos base agua.**

<b>Lodos Base Agua</b>					
<b>Aditivo</b>		<b>Estado</b>	<b>Masa (gr)</b>	<b>Densidad (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Volumen (cm<sup>3</sup>)</b>
A	Ripio	Sólido	50	1.4	35.71
B	Agua	Líquido	50	1	50
C	Surfactante	Sólido	2	1.17	1.71
D	Resinas	Líquido	4	1.47	2.72
E	Cemento	Sólido	50	3	16.67

**Tabla (4.2) Formulación de aditivos para lodos base aceite.**

<b>Lodos Base Aceite</b>					
<b>Aditivo</b>		<b>Estado</b>	<b>Masa (gr)</b>	<b>Densidad (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Volumen (cm<sup>3</sup>)</b>
A	Ripio	Sólido	50	1.4	35.71
F	Material mesoporoso	Sólido	9	0.14	64.29
B	Agua	Líquido	50	1	50
G	Silicatos	Líquido	9	1.4	6.43
D	Resinas	Líquido	4	1.47	2.72
E	Cemento	Sólido	50	3	16.67

Dependiendo al tipo de lodo se tienen distintos aditivos que permiten obtener el mismo resultado en cada una de las etapas, si estamos trabajando con lodos base agua el surfactante es el encargado de crear la emulsión, es decir, lograr formar una mezcla estable y homogénea que garantice la integración de materiales que puedan presentar problemas de compatibilidad. En el caso de lodos base aceite tenemos el material mesoporoso y los silicatos, ambos trabajan en conjunto a fin de obtener una microesponja que cumpla con la función de absorbente selectivo garantizando además el resguardo del material contaminante. El uso de agua y cemento es para crear el pegamento que sirve como sellado de las microesponjas (encapsulamiento), para finalmente formar los gránulos deseados.

En la última etapa se desea únicamente crear la matriz que este en capacidad de formar el bulbo y su posterior fraguado sin que ocurra migración de los agentes contaminantes previamente tratados.

Para facilitar los cálculos, se determinó la formulación de la mezcla en cada una de las etapas por unidad de volumen de ripio, estos resultados se presentan en las tablas 4.3 y 4.4:

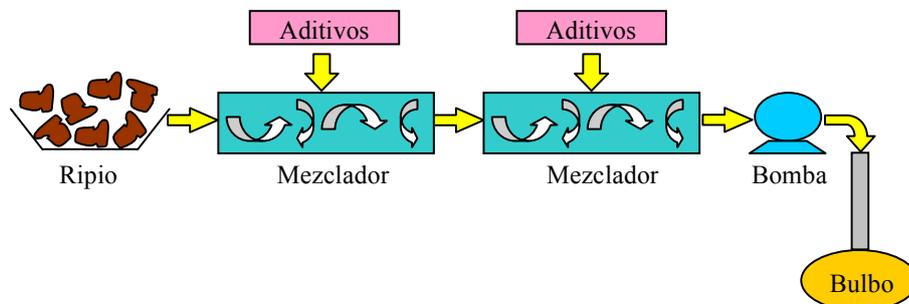
**Tabla (4.3) Formulación de aditivos por unidad de volumen para lodos base agua.**

Etapa I	Formulación	Etapa II	Formulación
A	1	B	1,40
B	1,40	E	0,47
C	0,05		
D	0,08		
E	0,47		

**Tabla (4.4) Formulación de aditivos por unidad de volumen para lodos base aceite.**

Etapa I	Formulación	Etapa II	Formulación
A	1	B	1,40
F	1,80	E	0,47
B	1,40		
G	0,18		
D	0,08		
E	0,47		

Las figuras 4.3 y 4.4 muestran el diagrama de cómo es el tratamiento del ripio y fotos de cada etapa del proceso obtenidas de pruebas de laboratorio:



**Figura (4.3) Diagrama de tratamiento de ripios.**



**Figura (4.4) Fotos de cada una de las etapas de la tecnología DEGRINS™.**

Para llevar a cabo la tecnología DEGRINS™, se necesitan una serie de equipos que permitan cumplir con cada una de las etapas del proceso, la tabla 4.5 muestra cuáles son esos equipos:

**Tabla (4.5) Equipos necesarios para ejecutar la tecnología de Inyección Somera.**

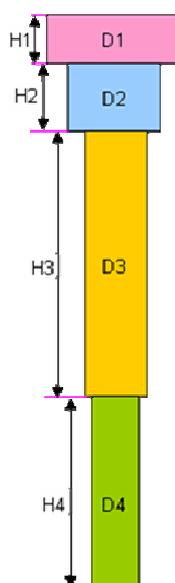
<b>Etapas</b>	<b>Equipos necesarios</b>	<b>Material a tratar</b>
1- Obtención de los gránulos y cumplimiento del decreto 2635. Primer encapsulamiento.	- Mezclador.	Ripio + Aditivos
	- Dosificadores.	Agua
		Acelerador de fraguado
		Cemento
		Tamiz molecular
		Surfactante
	Silicatos	
2- Obtención de la matriz con las propiedades adecuadas.	- Mezclador.	Gránulos + Aditivos
	- Dosificadores.	Agua
		Cemento
3- Inyección. Creación del bulbo. Segundo encapsulamiento.	- Bomba	Mezcla

#### **4.2 Análisis del volumen de ripio generado en un proceso de perforación.**

Para poder determinar la cantidad de ripio a procesar y los tiempos necesarios para el tratamiento de los mismos de tal forma de que se pudiese plantear la tecnología DEGRINS™ como una alternativa que trabaje de manera continua con los tiempos del taladro, se realizó un análisis en donde los parámetros fuesen los diámetros de la broca, las profundidades y las velocidades de perforación. Estos son algunos de los aspectos más importantes cuando se realiza un plan de trabajo de este tipo de actividad petrolera, teniendo presente que también es especificada la trayectoria que se seguirá.

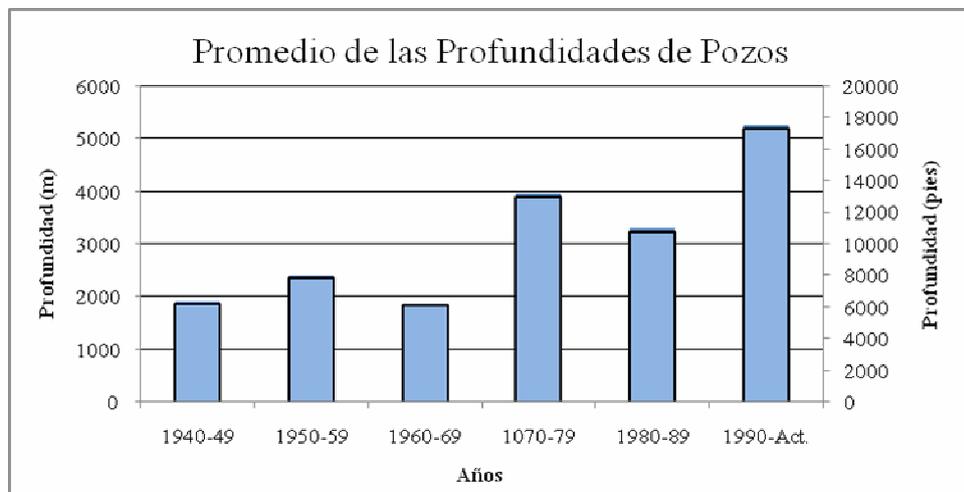
Existen muchas formas de perforar, bien sea vertical, horizontal o una combinación de las dos anteriores, la selección dependerá de las condiciones del suelo a atravesar. Para nuestro caso se simplificó a un pozo completamente vertical, si

bien esto no ocurre con frecuencia en la realidad, cuando se habla de profundidad del pozo se toma en cuenta son los metros de tubería de revestimiento, por lo tanto si se considera cada tramo como secciones completamente verticales (cilindros de revolución), tendremos una buena aproximación a la hora de estimar la cantidad de volumen de ripio. En la figura 4.5 se muestra el esquema utilizado para nuestro estudio, en donde se ve reflejado como varían los diámetros y las profundidades a lo largo del pozo:



**Figura (4.5) Esquema del pozo (Vista Lateral). En donde H= Profundidad y D= Diámetro.**

Teniendo los parámetros que se iban a tomar en consideración se procedió a investigar cuales son los valores característicos en nuestro país, de tal manera que las condiciones de operación sean las más desfavorables, abarcando de esta manera un mayor campo de aplicación para la inyección somera. Comenzando con la profundidad se realizó un estudio de pozos hallados en Venezuela el cual se muestra en el apéndice 1, donde se ve reflejado el campo, pozos pertenecientes a dichos campos, los años en que fueron perforados y las profundidades alcanzadas. Posterior a esto se realizó un promedio de profundidades cada 10 años, los resultados se presentan en la siguiente gráfica 4.1.



**Gráfica (4.1) Promedio de las profundidades de pozos cada 10 años**

La tabla 4.6 muestra una clasificación del tipo de pozo de acuerdo a la profundidad del mismo:

**Tabla (4.6) Clasificación de los pozos dependiendo de la profundidad.**

Pozos	Profundidad	
	Metros	Pies
Someros	200-500	655-1640
Profundos	500-6100	1640-20000

De la gráfica 4.1 y de la tabla 4.6 se puede decir que en Venezuela se han encontrado yacimientos a diversas profundidades, apreciando a su vez como a medida que ha transcurrido el tiempo se han venido incrementado estos valores, la razón por la que esto ocurre es que al pasar el tiempo aparecen nuevos desarrollos tecnológicos que permiten alcanzar pozos que anteriormente eran inaccesibles por razones técnico-económicas, permitiendo además la reactivación de otros que habían sido abandonados por diversas causas. Como resultado de este primer paso se decidió parametrizar la profundidad con que se iba a trabajar, la misma fue de 4880 m (16000 pies) la cual caracteriza a un pozo profundo, en donde superado los 702 m (2300 pies)

se comienza a utilizar los lodos base aceite debido a sus considerables ventajas, además de ser el tratamiento de este tipo de lodos una de las principales razones por las cuales surge la inyección somera.

La perforación de un pozo petrolero se lleva a cabo en varias etapas; diferentes secciones transversales en donde se varía el diámetro de la broca, evitando de esta manera derrumbes a medida que se va profundizando. Para poder hacer nuestros cálculos se emplearon tamaños de barrenas normalizadas para un plan de perforación, las velocidades de avance que se utilizaron fueron obtenidas de las capacidades de los taladros en la actualidad tomando en consideración los existentes y los últimos adquiridos por nuestro país. La tabla 4.7 muestra un resumen de todos estos datos obtenidos:

**Tabla (4.7) Resumen de datos (Análisis de Volumen de Ripio).**

	<b>1<sup>era</sup> Perforación</b>		<b>2<sup>da</sup> Perforación</b>		<b>3<sup>era</sup> Perforación</b>		<b>4<sup>ta</sup> Perforación</b>	
	m	pies	m	pies	m	pies	m	pies
<b>Diámetro (D)</b>	0,63	2,07	0,51	1,67	0,38	1,25	0,24	0,79
<b>Profundidad (H)</b>	m	pies	m	pies	m	pies	m	pies
	153	500	549	1800	2379	7800	1800	5900
<b>Velocidad (V)</b>	m/h	pies/h	m/h	pies/h	m/h	pies/h	m/h	pies/h
	18,30	60	16,78	55	14	45,90	10	32,79
	<b>Lodos base agua</b>				<b>Lodos base aceite</b>			

Es importante destacar que la profundidad para cada diámetro son valores estimados y a su vez las velocidades no siempre permanecen iguales, hay disminuciones o aumentos en la misma ya que cada suelo puede presentar diversos estratos donde la resistencia varía considerablemente, sin embargo, si se toman los valores máximos de capacidad como constantes se podrá suplir la demanda en procesamiento de ripios generada durante ciertos intervalos de tiempo (picos). A su vez existen paradas por diversas razones en las cuales el taladro deja de realizar su actividad, generando mínimos en cuanto a volúmenes de ripios a procesar iguales a cero, razón por la cual se tomó como referencia el tiempo del taladro, es decir, el

número de horas en las cuales este se encuentra en funcionamiento, para poder realizar estos cálculos se empleó la siguiente ecuación:

$$T_T = \frac{H}{V} \quad \text{En donde;}$$

(4.2)

T<sub>T</sub> = Tiempo del Taladro.  
H = Profundidad.  
V = Velocidad.

Los resultados se presentan en las siguientes tablas 4.8 y 4.9:

**Tabla (4.8) Tiempos del taladro por perforación.**

Tiempo del Taladro (T <sub>T</sub> )	1 <sup>era</sup> Perforación		2 <sup>da</sup> Perforación		3 <sup>era</sup> Perforación		4 <sup>ta</sup> Perforación	
	h	min	h	min	h	min	h	min
	8,33	500	32,73	1963,64	169,93	10195,71	179,95	10797

**Tabla (4.9) Tiempo total de trabajo del taladro.**

Tiempo total de trabajo del taladro	
h	min
391	23457

Con los valores de velocidad, diámetros y profundidades se armó de manera sencilla el plan de perforación de nuestro pozo en estudio, esto nos permitió determinar el volumen natural de ripio que es para un tipo de suelo que se encuentra in situ o en su estado original. Este volumen natural no es el mismo cuando llega a la superficie y debe ser tratado, existen varias razones por las cuales este cambia, siendo dos las principales. La primera de ellas es que existe un factor de esponjamiento y la segunda es que el ripio sale a la superficie impregnado de lodo, y aun cuando existen equipos que buscan disminuir esta pérdida en lodo, no lo logran en un 100%.

En la estimación del incremento de volumen obtenido por razones de impregnación fue utilizado un factor de impregnación de lodo igual a 0.35, el mismo fue obtenido en una prueba de retorta que se realizó para los pozos Torunos-0012 y

Bejucal-0009 del Distrito Barinas (División Centro Sur) en el año 2002, señalado en el trabajo de investigación de Velásquez Miguel el cual lleva como título “Determinación de las pérdidas en volumen de fluido de perforación empleado en el hoyo intermedio de los pozos del área de Barinas”. A pesar de que este valor puede ser muy variable debido al tipo de equipos que se tengan en superficie para la remoción de sólidos da una buena aproximación.

Finalmente para obtener el volumen total que tendría el ripio en superficie, se procedió a determinar el volumen por esponjamiento, la tabla 4.10 muestra algunos factores de esponjamiento de acuerdo al tipo de suelo:

**Tabla (4.10) Factores de esponjamiento para diversos tipos de suelo.**

<b>Tipo de suelo</b>	<b>Factor de esponjamiento (Fe)</b>
Roca dura (volada)	0.5-1
Roca mediana (volada)	0.4-0.8
Roca blanda (volada)	0.25-0.4
Grava, compacta	0.35
Grava, suelta	0.1
Arena, compacta	0.25-0.35
Arena, mediana a dura	0.15-0.25
Arena, blanda	0.05-0.15
Limos, recién depositados	0-0.1
Limos, consolidados	0.1-0.4
Arcillas, muy duras	0.15-0.25
Arcillas, medianas a duras	0.1-0.15
Arcillas, blandas	0-0.10
Mezclas de arenas/gravas/arcillas	0.15-0.35

En nuestro caso se utilizó un factor de esponjamiento intermedio entre todos estos valores  $Fe = 0.5$  debido a que por lo general en un proceso de perforación se tienen que atravesar diversas capas del subsuelo y más aún cuando se trabaja con pozos profundos como el utilizado 4880 m (16000 pies), teniendo entre estas arcillas, arenas, rocas, entre otras. La razón por la cual se tomo este valor es que de una u otra manera compensa los factores de esponjamiento que hay que utilizar en los diversos sustratos en donde se debe perforar. En el apéndice 2 se muestran dos perfiles

geotécnicos en lugares que han servido de campos petroleros, la finalidad de los mismos es que se aprecie las columnas estratigráficas y por ende como es la variación del tipo de suelo.

Las ecuaciones utilizadas para calcular los volúmenes fueron las siguientes:

$$V_{RN} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot H$$

En donde;  
 $V_{RN}$  = Volumen de ripio natural.  
 $D$  = Diámetro de la perforación.  
 $H$  = Profundidad de la perforación. (4.3)

$$V_{AR} = V_{RN} \cdot F_{IL}$$

En donde;  
 $V_{AR}$  = Volumen de lodo adherido al ripio.  
 $V_{RN}$  = Volumen de ripio natural.  
 $F_{IL}$  = Factor de impregnación de lodo. (4.4)

$$V_E = V_{RN} \cdot F_E$$

En donde;  
 $V_E$  = Volumen por esponjamiento.  
 $V_{RN}$  = Volumen de ripio natural.  
 $F_E$  = Factor de esponjamiento. (4.5)

$$V_{TR} = V_{RN} + V_{AR} + V_E$$

En donde;  
 $V_{TR}$  = Volumen total de ripio.  
 $V_{RN}$  = Volumen de ripio natural.  
 $V_{AR}$  = Volumen de lodo adherido al ripio.  
 $V_E$  = Volumen por esponjamiento. (4.6)

Los resultados se muestran en las tablas 4.11 y 4.12:

**Tabla (4.11) Volumen de ripio obtenido por perforación.**

Volumen	1 <sup>era</sup> Perforación		2 <sup>da</sup> Perforación		3 <sup>era</sup> Perforación		4 <sup>ta</sup> Perforación	
	m <sup>3</sup>	pies <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	pies <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	pies <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	pies <sup>3</sup>
<b>De ripio natural (V<sub>RN</sub>)</b>	47,54	1675,49	112,15	3952,78	269,81	9509,38	81,41	2869,23
<b>De lodo adherido al ripio (V<sub>AR</sub>)</b>	16,64	586,42	39,25	1383,47	94,43	3328,28	28,49	1004,23
<b>Por esponjamiento (V<sub>E</sub>)</b>	23,77	837,74	56,08	1976,39	134,90	4754,69	40,70	1434,61
<b>Total de ripio por perforación (V<sub>TR</sub>)</b>	87,95	3099,65	207,48	7312,65	499,14	17592,34	150,60	5308,07

**Tabla (4.12) Volumen total de ripio.**

Volumen de ripio natural ( $V_{RN}$ )		Volumen de Lodo Adherido al Ripio ( $V_{AR}$ )		Volumen por Esponjamiento ( $V_E$ )		Total de Ripio Generado ( $V_{TR}$ )	
m <sup>3</sup>	pies <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	pies <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	pies <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	pies <sup>3</sup>
510,90	18006,87	178,82	6302,41	255,45	9003,44	<b>945,17</b>	<b>33312,71</b>

Una vez determinado el volumen total de ripio se procedió a buscar cual es la tasa de generación, factor que servirá de parámetro para posteriormente investigar cuales son las capacidades de los equipos que se necesitan en cada una de las etapas y los tiempos estimados para cada proceso, de tal forma de que la tecnología DEGRINS™ se ajuste con los tiempos del taladro, haciendo que el tratamiento sea continuo con la perforación del pozo. Las ecuaciones usadas para determinar las tasas fueron las siguientes:

$$T_N = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot V$$

En donde;  
 $T_N$  = Tasa de ripio natural.  
 $D$  = Diámetro de la perforación.  
 $V$  = Velocidad de la perforación. (4.7)

$$T_I = T_N \cdot F_{IL}$$

En donde;  
 $T_I$  = Tasa de ripio por impregnación.  
 $T_N$  = Tasa de ripio natural.  
 $F_{IL}$  = Factor de Impregnación de lodo. (4.8)

$$T_E = T_N \cdot F_E$$

En donde;  
 $T_E$  = Tasa de ripio por esponjamiento.  
 $T_N$  = Tasa de ripio natural.  
 $F_E$  = Factor de esponjamiento. (4.9)

Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 4.13

**Tabla (4.13) Tasas de generación de ripio.**

Tasa de Ripio	1 <sup>era</sup> Perforación		2 <sup>da</sup> Perforación		3 <sup>era</sup> Perforación		4 <sup>ta</sup> Perforación	
	m <sup>3</sup> /h	pie <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /h	pie <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /h	pie <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /h	pie <sup>3</sup> /h
<b>Natural (<math>T_N</math>)</b>	5,70	201,06	3,43	120,78	1,59	55,96	0,45	15,94
<b>Por impregnación (<math>T_I</math>)</b>	2,00	70,37	1,20	42,27	0,56	19,59	0,16	5,58
<b>Por esponjamiento (<math>T_E</math>)</b>	2,85	100,53	1,71	60,39	0,79	27,98	0,23	7,97
<b>Total a procesar (<math>T_{RP}</math>)</b>	<b>10,55</b>	<b>371,96</b>	<b>6,34</b>	<b>223,44</b>	<b>2,94</b>	<b>103,53</b>	<b>0,84</b>	<b>29,50</b>

### 4.3 Selección del Tipo de Mezclador.

En la primera etapa del proceso de inyección somera se debe mezclar el ripio impregnado del lodo utilizado en la perforación, con los aditivos necesarios bien sea sólidos o líquidos que permitan la formación de gránulos bien solidificados. El segundo mezclador es utilizado para formar una matriz que posea la viscosidad adecuada para su posterior inyección, en donde agua y cemento son los componentes a añadir quien en conjunto con los gránulos de la etapa I forman una mezcla muy similar a la del concreto.

Variando en dimensiones, posición de mezclado (verticales u horizontales) y forma del rotor o elemento mezclador, se hizo un estudio de los tipos de mezcladores disponibles en el mercado que permiten el manejo de sólidos. La figura 4.6 presenta un esquema con los resultados encontrados:

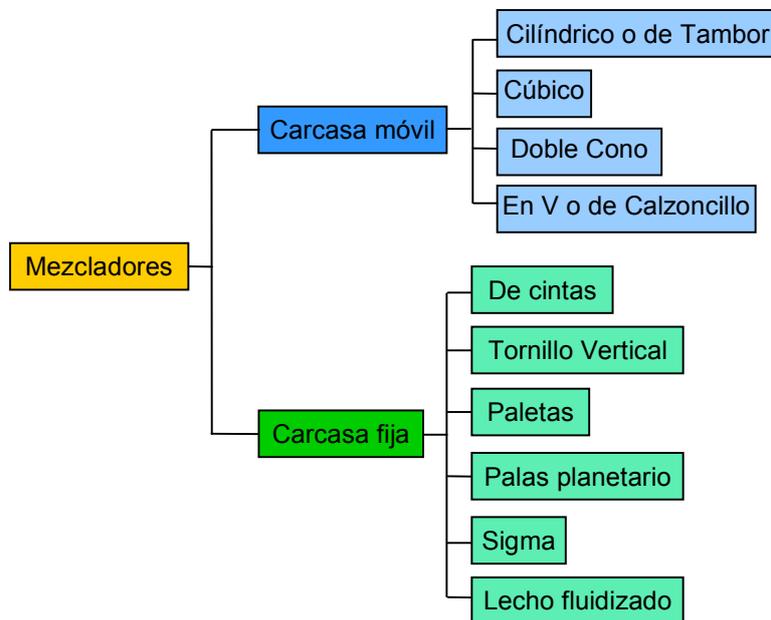


Figura (4.6) Esquema de los tipos de mezcladores para manejo de sólidos.

Si bien los mezcladores de carcasa móvil presentan un uso frecuente en el procesamiento de materiales con características similares, poseen diversas desventajas que los ponen como una alternativa poco factible dentro del tipo de aplicación que se requiere para la tecnología de inyección somera, ya que si bien proporcionan un eficiente mezclado, cuando se trabajan con grandes volúmenes el tamaño es superior al que se puede esperar con un mezclador de carcasa fija, debido a que los mismos no se deben cargar a su máxima capacidad, otra desventaja es que al momento de realizar la dosificación son varios los aditivos que se tienen por etapa y deben ser suministrados en tiempos muy cortos, haciendo de este paso algo complejo en comparación a los de carcasa fija.

Debido a las razones expuestas anteriormente se procedió a profundizar dentro de los mezcladores de carcasa fija, a fin de poder seleccionar el tipo que mejor se adecue a los requerimientos de trabajo, las tablas presentes en el apéndice 3 presentan las características de cada uno de los mezcladores encontrados.

Teniendo en cuenta la forma en cómo trabajan cada uno de los mezcladores anteriormente señalados, así como también sus ventajas, limitaciones y aplicaciones se procedió a realizar la selección por medio de una matriz morfológica, tomando en consideración los siguientes puntos:

- Capacidad para manejar grandes volúmenes. Dependiendo a las tasas de generación y tiempos de retención en cada una de las etapas, se pueden esperar grandes volúmenes de ripio a ser procesado.
- Capacidad para trabajar con líquidos y sólidos. Entre los aditivos de la etapa I y II existen tanto sólidos como líquidos, además de obtener en la primera etapa un producto sólido y en la segunda una mezcla.
- Permita realizar el mezclado en tiempos cortos. Debido a que el mezclado requiere de un tiempo de retención y como condición más desfavorable es tener una tasa constante de generación de ripios; el poder procesar materiales en

tiempos cortos se traduce en rapidez, menor dimensionamiento, entre otras ventajas.

- Facilidad para realizar cargas. El mezclador debe recibir ripio y diversos aditivos con facilidad.
- Facilidad para realizar descargas. La facilidad de realizar descargas influye en la disposición de los equipos así como también en los tiempos de procesamiento.
- Facilidad de limpieza. En determinados momentos existen paradas del taladro por diversas razones, en las cuales se hace necesario limpiar los equipos, a fin de que no se generen problemas en su posterior funcionamiento; ejemplo de ello posibles solidificaciones de residuos de la mezcla obtenida en la etapa II.
- Permita el rompimiento de aglomerados. En ambas etapas se puede llegar a tener sólidos de tamaños considerables, formados por diversas razones como compactación o secado de productos impregnados con líquidos; en todo momento se recomienda la disminución de estos tamaños, a fin de que puedan ser procesados con facilidad por el equipo de inyección.
- Usos similares. Se tomará en cuenta que el mezclador se haya sido utilizado en aplicaciones similares.

Todos estos aspectos son importantes para el proceso, pero existen unos que son de mayor importancia predominando en la selección del tipo de mezclador, es por esta razón que se les dio un valor de relevancia, que va del 1 al 3 y una escala de calificación la cual se muestra en la tabla 4.14:

**Tabla (4.14) Valores de relevancia.**

<b>Calificación</b>	<b>Descripción</b>
1	Muy desfavorable
2	Desfavorable
3	Relativamente favorable
4	Medianamente favorable
5	Favorable
6	Muy favorable

Teniendo los diversos tipos de mezcladores de carcasa fija que existen en el mercado, los aspectos de evaluación, valor de relevancia (VR) y las calificaciones que se van a emplear, se procedió a montar la matriz morfológica representada por la tabla 4.15.

**Tabla (4.15) Matriz morfológica selección de mezclador.**

Aspectos de Evaluación		Tipos de mezcladores					
		De cintas	Tornillo vertical	Paletas	Palas planetario	Sigma	Lecho fluidizado
A	-	6	5	6	4	6	3
VR(A)	2	12	10	12	8	12	6
B	-	6	4	6	6	6	2
VR(B)	3	18	12	18	18	18	6
C	-	6	6	3	2	3	3
VR(C)	2	12	12	6	4	6	6
D	-	6	6	6	4	6	3
VR(D)	2	12	12	12	8	12	6
E	-	6	6	6	4	6	3
VR(E)	2	12	12	12	8	12	6
F	-	3	3	3	3	3	3
VR(F)	1	3	3	3	3	3	3
G	-	5	5	4	4	5	4
VR(G)	2	10	10	8	8	10	8
H	-	4	2	4	1	4	2
VR(H)	1	4	2	4	1	4	2
<b>Total</b>		<b>83</b>	<b>73</b>	<b>75</b>	<b>58</b>	<b>77</b>	<b>43</b>

De la matriz morfológica se obtuvo que el mezclador que mejor se adecua a las condiciones de operación de la tecnología DEGRINS<sup>TM</sup> en ambas etapas es el de cinta (Ribbon Blender) siendo este el seleccionado para el desarrollo del sistema.

#### 4.4 Selección del Tipo de Bomba.

Posterior al segundo proceso de mezclado viene la etapa final de la tecnología DEGRINS<sup>TM</sup>, la cual consiste en la inyección del ripio previamente tratado el cual se encuentra inmerso en una matriz, es por esta razón que se hace necesario disponer de una bomba que sea capaz de manejar ciertas condiciones de presión y viscosidad, a fin de cumplir de manera exitosa con esta fase final del proceso. Para ello se investigó

cuales son los tipos de bombas existentes en el mercado, permitiendo realizar la selección del equipo de la manera más adecuada, la figura 4.7 muestra un esquema del resultado de los equipos encontrados:

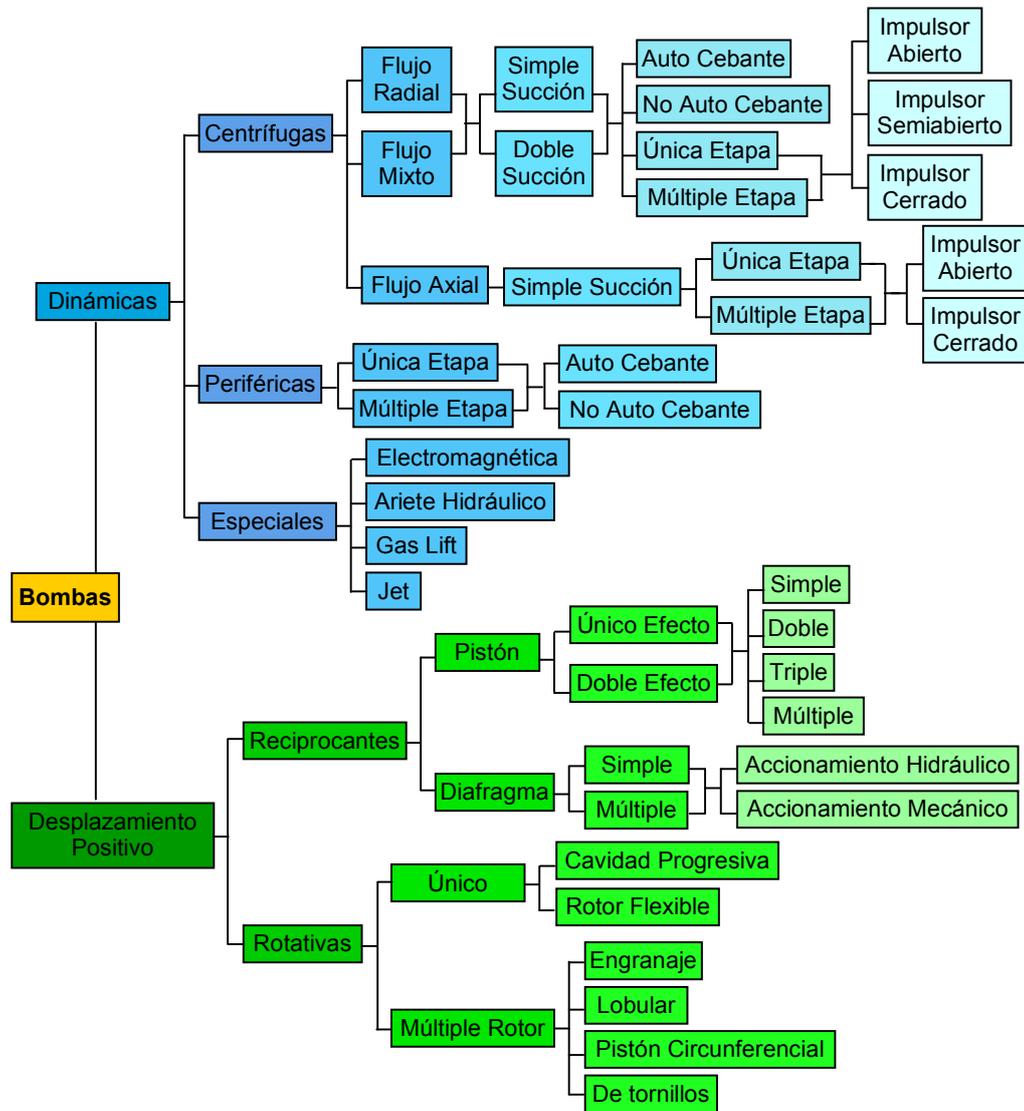


Figura (4.7) Esquema de los tipos de Bomba.

Las bombas por ser uno de los inventos con mayor antigüedad y a su vez uno de los más empleados, se han fabricado con diversas variaciones como se ve reflejado en el esquema anterior, por esta razón la selección debe hacerse de manera ordenada siguiendo pasos que permitan ir descartando entre los diversos modelos existentes, la

figura 4.8 presenta un esquema que se armó en función de las características generales de los dos grandes grupos de bombas con la finalidad de ir reduciendo la búsqueda.

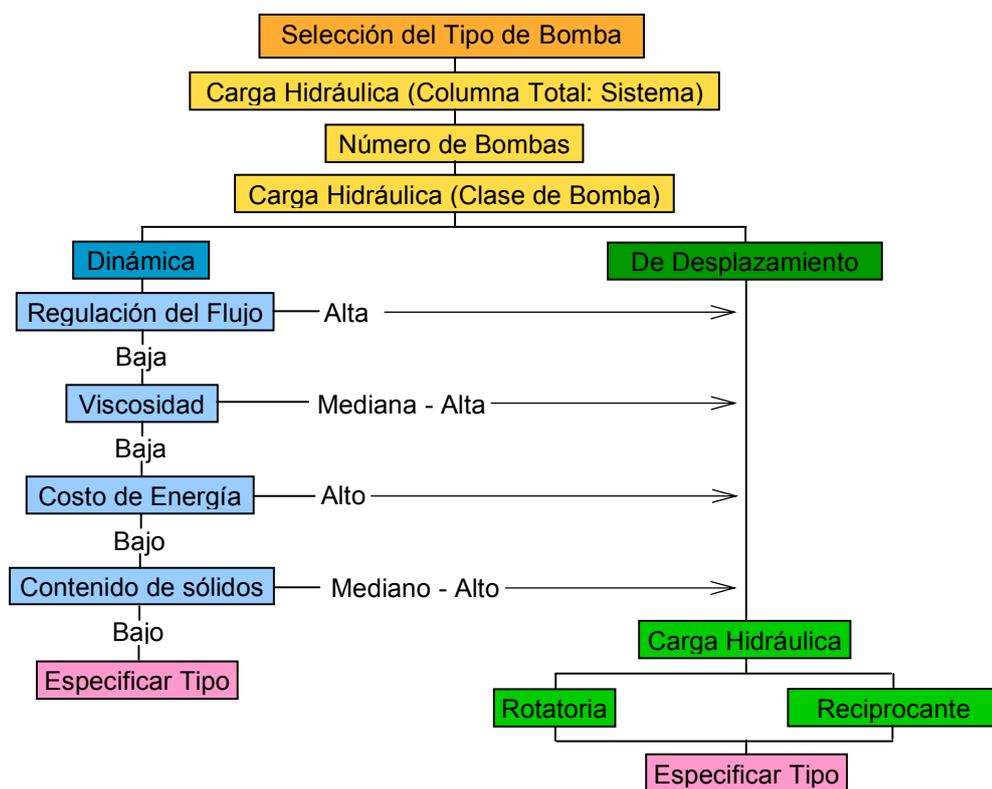
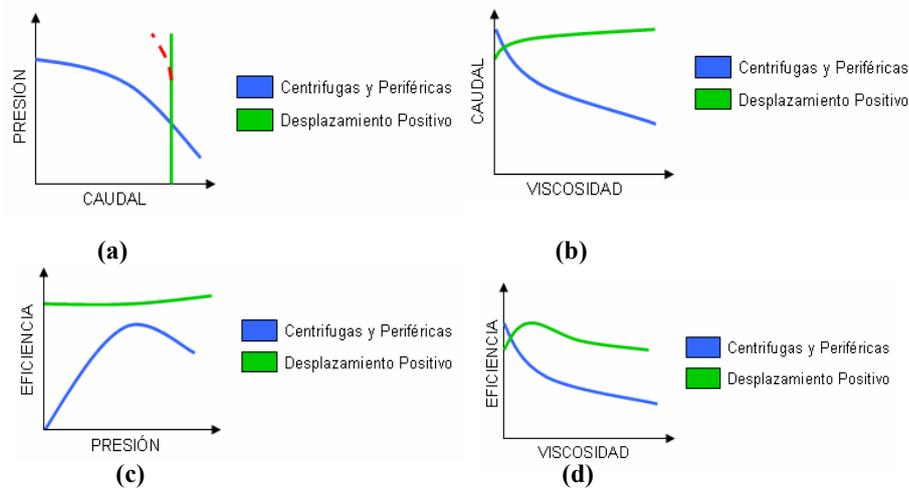


Figura (4.8) Selección entre bombas dinámicas y desplazamiento positivo.

Como se observa, las bombas de desplazamiento positivo presentan considerables ventajas para la regulación del flujo, el manejo de fluidos viscosos, el costo de la energía y el contenido de sólidos presentes en los fluidos, sin embargo, a fin de indagar un poco más en esta primera selección, se presentan las siguientes curvas características, figura 4.9.



**Figura (4.9) Curvas características. (a) Presión vs Caudal, (b) Caudal vs Viscosidad, (c) Eficiencia vs Presión, (d) Eficiencia vs Viscosidad**

Uno de los parámetros más importantes que hay que tener en cuenta dentro del proceso es el tiempo que se estipula para cada una de las etapas (equipos), ya que de no seguir un ritmo determinado se pueden provocar colapsos en la capacidad de procesamiento del sistema. Es por esta razón, que la bomba debe manejar cierto flujo de material a inyectar en un tiempo determinado, independientemente de la presión de salida la cual varía a lo largo de la inyección. Otro punto importante a considerar es la viscosidad, en la última etapa dependiendo a las condiciones del suelo receptor existen ajustes de esta propiedad del fluido a fin de evitar problemas de grietas y por ende afloramientos en superficie, por lo tanto aunque cambie la viscosidad, la bomba tendrá que funcionar dentro del mismo rango de tiempo estipulado. Estas dos consideraciones dan por descartadas las bombas centrífugas y periféricas, dando paso a una selección dentro del grupo de las bombas de desplazamiento positivo. En la figura 4.9 (c) y (d) se puede apreciar claramente como estas dos propiedades, presión y viscosidad no son factores que afecten considerablemente la eficiencia de las mismas.

Para realizar la selección de la bomba dentro del grupo de desplazamiento positivo, se investigó cuales son las existentes en el mercado, su principio de

funcionamiento, características, limitaciones y aplicaciones, permitiendo decidir cuál es la que mejor se adecua a las condiciones de trabajo que se requieren. Las tablas del apéndice 4 presentan las características de cada una de las bombas encontradas.

Los valores de operación para distintos escenarios han sido cotejados en pruebas a escala real y a pesar de que existen variaciones de un suelo a otro, hay que tener en cuenta que la tecnología DEGRINS™ se ha enfocado hasta estos momentos en los suelos arcillosos, encontrados en los estratos someros a profundidades de 50 m, en donde las variaciones no se esperan con grandes márgenes de diferencia. Una vez finalizados todos estos pasos iniciales, se elaboró una matriz morfológica para hacer la selección; los aspectos a evaluar fueron los siguientes:

- Capacidad para alcanzar altas presiones. Existe una etapa inicial que comprende el momento en el cual se comienza a crear el bulbo, durante un lapso de tiempo relativamente corto se puede alcanzar una presión de hasta 4.83 MPa (700 psi) que posteriormente va descendiendo hasta valores cercanos a 0.28 MPa (40 psi).
- Manejo de materiales abrasivos. Los sólidos contenidos en la matriz serán gránulos con resistencias a la compresión entre 25 y 32 Kg/cm<sup>2</sup>.
- Manejo de altas viscosidades. La viscosidad varía dependiendo del suelo donde se realizará la inyección, encontrándose valores que pueden superar los 30.000 Cp.
- Manejo de altos porcentajes de contenidos de sólidos. La mezcla tiene su similitud con el concreto en donde  $\frac{3}{4}$  partes del volumen que se ocupa lo conforman el material de agregado, en nuestro caso los gránulos obtenidos en la primera fase del proceso. Se pueden llegar a tener hasta 70 % de contenido de sólidos.
- Capacidad para manejar diversos tamaños de sólidos. Producto de alguna solidificación o falla en un proceso de mezclado se pueden esperar diámetros de sólidos de hasta 70 mm. aproximadamente.

- Pequeñas dimensiones. El equipo debe ocupar la menor cantidad de espacio físico, cumpliendo con los requerimientos de trabajo.
- Fácil mantenimiento. La bomba debe ser lo suficientemente práctica a la hora de realizar un mantenimiento disminuyendo en lo posible los tiempos de paradas.
- Usos similares. Se tomará en cuenta que la bomba haya sido empleada en aplicaciones similares.

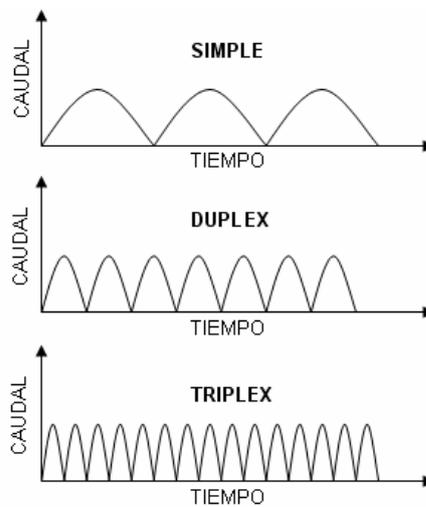
Todos estos aspectos son importantes para el proceso pero existen unos que son de mayor importancia predominando en la selección del tipo de bomba, es por esta razón que se les dio un valor de relevancia, que va del 1 al 3, y una escala de calificación la cual se muestra en la tabla 4.14. En base a los tipos de bombas de desplazamiento positivo que existen en el mercado, los aspectos de evaluación, con su respectivo valor de relevancia (VR) y las calificaciones que se van a emplear, se montó la matriz morfológica, tabla 4.16.

**Tabla (4.16) Matriz morfológica selección de bomba**

Aspectos de Evaluación		Tipo de Bomba						
		Engranaje	Lobular	Tornillos	Pistón	Diafragma	Impulsor Flexible	Peristáltica
A	-	6	5	6	6	6	4	1
VR(A)	3	18	15	18	18	18	12	3
B	-	3	4	2	6	6	1	6
VR(B)	3	9	12	6	18	18	3	18
C	-	6	6	6	6	6	4	6
VR(C)	3	18	18	18	18	18	12	18
D	-	1	2	3	6	6	3	6
VR(D)	3	3	6	9	18	18	9	18
E	-	2	2	4	6	6	3	3
VR(E)	2	4	4	8	12	12	6	6
F	-	4	6	4	3	3	5	5
VR(F)	2	8	12	8	6	6	10	10
G	-	3	4	4	6	5	5	5
VR(G)	2	6	8	8	12	10	10	10
H	-	2	2	4	4	3	1	4
VR(H)	1	2	2	4	4	3	1	4
<b>Total</b>		<b>68</b>	<b>77</b>	<b>79</b>	<b>106</b>	<b>103</b>	<b>63</b>	<b>87</b>

De la matriz morfológica se obtuvo que la bomba que mejor se adecua a las condiciones de operación de la tecnología DEGRINS™ es la bomba de pistón, sin embargo, existen varios modelos; el primero de ellos depende del efecto de los pistones, simple o doble, y el segundo la cantidad de pistones por bomba. La ventaja que presenta la bomba de doble acción es que el flujo se hace más continuo pero el costo de inversión inicial es mayor, así como también su mantenimiento debido a que el funcionamiento es más complejo, por lo tanto la bomba de efecto simple fue la escogida.

A fin de obtener un fluido lo bastante continuo a la descarga de la bomba y sin el uso de estabilizadores de pulsaciones, se escogió la bomba de acción simple con dos pistones. La figura 4.10 presenta el comportamiento del flujo vs el tiempo para diversos números de pistones de simple acción.



**Figura (4.10) Comportamiento del flujo vs el tiempo según número de pistones.**

## 4.5 Selección del Tipo de Transportador

Para poder llevar a cabo la tecnología DEGRINS™ es necesario que el ripio pase por una serie de etapas y en consecuencia a través de varios de equipos, es por esta razón que se hace necesario buscar cuales son los mecanismos que permiten el transporte más adecuado dadas ciertas condiciones. De acuerdo al tipo de material que maneja el transportador encontramos una primera clasificación la cual se ilustra en la figura 4.11:

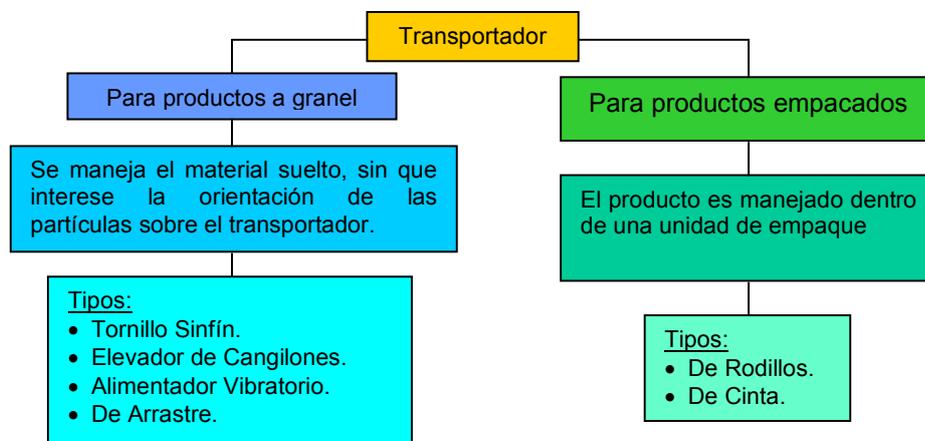


Figura (4.11) Clasificación de transportadores según material de trabajo

Es importante destacar en este punto que existen muchos transportadores que buscan abarcar un campo de aplicación mayor, entrando de esta manera dentro de una clasificación pero poseen características que caracterizan a otra; por lo tanto entre los tipos de transportadores mencionados en la figura 4.11, existen muchas subdivisiones, razón por la cual no se hace un descarte a priori. Para poder ver el campo de aplicación que posee de manera general cada transportador se investigó cual es el principio de funcionamiento, las industrias que los utilizan y capacidades de cada uno. El resultado se muestra en las tablas del apéndice 5.

Una vez realizado este paso se procedió a ver cuál es el tipo de transportador que más se adecua a las condiciones de trabajo de la tecnología DEGRINS™, utilizando para esto una matriz morfológica que nos permita hacer la selección. Como aspectos a evaluar se tomaron en cuenta los siguientes:

- Permita transportar grandes volúmenes. Este factor es importante ya que de acuerdo a la perforación que se esté realizando, diámetro, profundidad, condiciones de suelo, se puede llegar a tener valores de hasta 11 m<sup>3</sup>/h.
- Capacidad para transporte de materiales húmedos. El ripio proveniente de las perforaciones contienen un porcentaje considerable de lodo el cual va impregnado en el ripio.
- Capacidad para transportar grandes contenidos de sólidos. Tanto en la primera fase como en la segunda, es importante este punto ya que del ripio la mayor cantidad de volumen la ocupan sólidos.
- Capacidad para transportar diversos tamaños de sólidos. En ciertos momentos es posible conseguir sólidos de un tamaño considerable, bien sea producto de la perforación, fallas en el proceso de mezclado o retardo en alguna actividad. Por otro lado, también es de esperar sólidos de tamaños muy pequeños producto de la primera etapa de mezclado (formación de gránulos).
- Facilidad para la carga del material a transportar. El transportador debe tener la capacidad de recibir por gravedad el ripio proveniente de la zaranda o de alguno de los mezcladores.
- Facilidad para hacer descarga en diversos puntos. Para que el sistema sea compacto y se reduzca la cantidad de equipos a utilizar es importante la versatilidad del transportador, el cual debe poseer la capacidad de realizar con facilidad descargas en diversos puntos.
- Fácil mantenimiento. Como se requiere que el sistema trabaje de manera continua; en pequeños lapsos de tiempo se pueda hacer el mantenimiento del mismo.
- Capacidad para el transporte a diversas inclinaciones. Las condiciones de espacio físico disponibles para la ubicación del sistema varía de un sitio de perforación a otro, por lo tanto es posible tener transportes en el cual el grado de inclinación del transportador sea fundamental.
- Capacidad para el transporte a grandes distancias. Los valores pueden ir de 5 m a 10 m aproximadamente, esto depende a la distancia que exista entre los

equipos y el espacio físico disponible, así como también de la disposición de los mismos.

- Continuidad en el transporte. Se necesita que el ripio sea recibido de la zaranda e inmediatamente llevado a la etapa I del proceso en forma continua.

Todos estos aspectos son importantes para el proceso, pero existen unos que son de mayor importancia, predominando en la selección del tipo de transportador, es por esta razón que se les dio un valor de relevancia, que va del 1 al 3, y una escala de calificación la cual se muestra en la tabla 4.14. Teniendo los diversos tipos de transportadores que existen en el mercado, los aspectos de evaluación, con su respectivo valor de relevancia (VR) y las calificaciones que se van a emplear, se procedió a montar la matriz morfológica representada por la tabla 4.17.

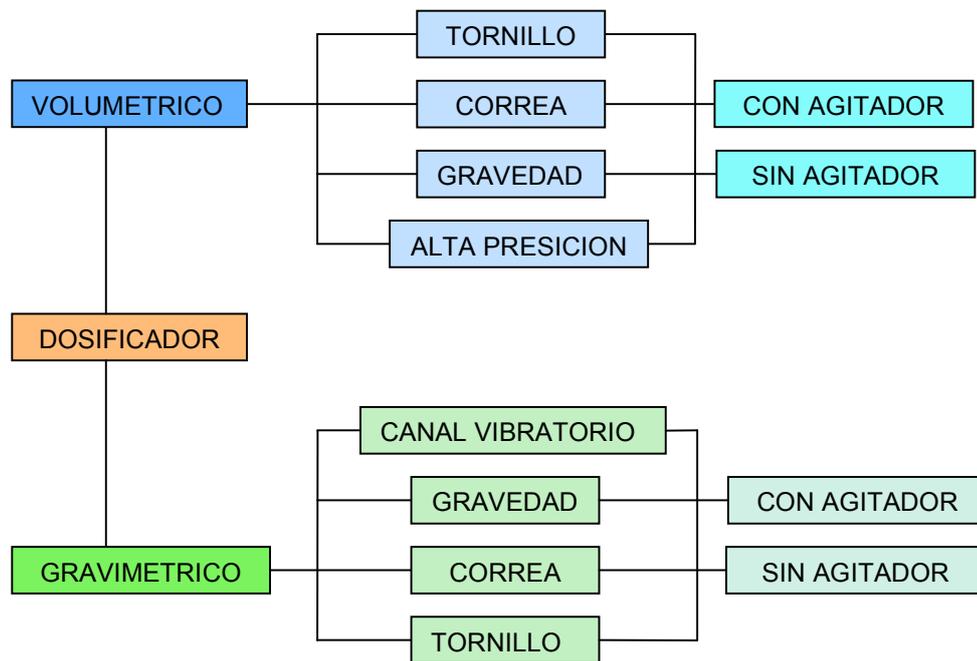
**Tabla (4.17) Matriz morfológica selección de transportadores**

Aspectos de Evaluación		Tipo de Transportador					
		De Tornillo	Elevador Cangilones	Alimentador Vibratorio	De Arrastre	De Rodillos	De Cinta
A	-	6	6	3	6	3	6
VR(A)	3	18	18	9	18	9	18
B	-	5	5	1	2	1	2
VR(B)	1	5	5	1	2	1	2
C	-	5	6	6	4	2	6
VR(C)	3	15	18	18	12	6	18
D	-	4	4	3	2	2	6
VR(D)	2	8	8	6	4	4	12
E	-	6	3	4	4	1	6
VR(E)	1	6	3	4	4	1	6
F	-	6	2	2	5	2	2
VR(F)	2	12	4	4	10	4	4
G	-	3	2	1	3	2	5
VR(G)	1	3	2	1	3	2	5
H	-	5	3	2	6	3	2
VR(H)	2	10	6	4	12	6	4
I	-	5	4	3	6	3	6
VR(I)	2	10	8	6	12	6	12
J	-	6	3	4	3	2	6
VR(J)	3	18	9	12	9	6	18
<b>Total</b>		<b>105</b>	<b>81</b>	<b>65</b>	<b>86</b>	<b>45</b>	<b>99</b>

De la matriz morfológica se seleccionó el transportador de tornillo como el más adecuado para llevar a cabo la tecnología DEGRINS<sup>TM</sup>, sin embargo, se hizo necesario profundizar en cuanto a las formas en las cuales son fabricados los tornillos, ya que cada uno de ellos posee diversas funciones así como también el manejo de diversos tipos de materiales, las características de cada uno de ellos se muestran en el apéndice 6. Debido a que solo se requiere el transporte del material, se decidió utilizar el transportador de tornillo helicoidal.

#### **4.6 Selección del tipo de dosificador.**

En la primera y segunda etapa de mezclado del proceso de Inyección Somera, es preciso la dosificación de una serie de aditivos que junto con la corteza triturada proveniente de las zarandas del taladro, formarán la micro esponja (etapa I) y posteriormente la mezcla a ser inyectada por la bomba (etapa II). Esta dosificación se caracteriza por ser de sustancia tanto en estado sólido como en estado líquido. Es por ello que se hace necesario buscar cuales de los mecanismos de dosificación es el más adecuado dada las condiciones de operación, en base a la investigación de los dosificadores disponibles en el mercado se hizo la siguiente clasificación representada en la figura 4.12:



**Figura (4.12) Clasificación de los dosificadores**

Como se observa en la figura 4.12 los dosificadores se dividen en dos grandes grupos, los gravimétricos y los volumétricos. Los dosificadores gravimétricos trabajan bajo el principio de pérdida de peso para hacer el cálculo de dosificación, mientras que los volumétricos se basan en la cantidad de material desplazado (volumen) sin importar el peso. Sin embargo, ambos grupos mantienen características similares en la forma de hacer la descarga del material. Para poder ver el campo de aplicación que posee de manera general cada dosificador se investigó cual es el material que puede manejar, las industrias que los utilizan y capacidades, siendo la forma de descarga la característica para hacer dicha investigación. Las tablas del apéndice 9 presentan la descripción de los dosificadores encontrados.

Una vez elaborada esta etapa de descripción de los equipos, se procedió a hacer la selección de los dosificadores que más se adecuen a las condiciones de trabajo propuestas por la tecnología de inyección somera. Los aspectos evaluados fueron los siguientes:

- Permita la dosificación de grandes volúmenes en corto tiempo. Esta característica es importante ya que se requiere que la dosificación sea bastante rápida para garantizar un mayor tiempo en el mezclado.
- Manejo de sólidos. Los aditivos que se agregan a la mezcla son sólidos con una granulometría muy fina como el caso de los polvos y talcos.
- Facilidad para la carga de los aditivos. Se plantea varias recargas por cada bulbo a inyectar, por lo que el acceso de los operarios para el vaciado del material tiene que ser fácil.
- No requiere de alta precisión de dosificado. Por tratarse de grande volúmenes a ser dosificados no se requiere de dispositivos de gran precisión.
- Gran capacidad de la tolva.
- Equipo automatizado. La dosificación tiene que hacerse en forma automática, ya sea por cálculo de peso o por volumen.
- Agitador dentro de la tolva. Este mecanismo ayuda a que fluya más rápido el material hacia la descarga.
- Dosificado por gravedad. Sin importar el tipo de descarga seleccionado se requiere que la misma se haga por gravedad directo en los mezcladores, esto para evitar en lo posible el uso de más transportadores.

Todos los aspectos antes mencionados son importantes para el proceso de dosificación de los aditivos, pero existen unos de mayor importancia que otros; por eso se le asignó un valor de relevancia a cada característica, que va del 1 al 3, y una escala de calificación la cual se muestra en la siguiente tabla 4.14.

Se procedió a montar la siguiente matriz morfológica basándose en el valor de relevancia y en la escala de calificación de la tabla 4.14 para hacer una selección final de los dosificadores a utilizar, dando como resultado la tabla 4.18.

**Tabla (4.18) Matriz morfológica selección de dosificadores**

Aspectos de Evaluación		Tipo de Dosificador			
		De Tornillo	Canal Vibratorio	De Correa	Por Baches
A	-	6	3	2	6
VR(A)	3	18	9	6	18
B	-	6	4	3	6
VR(B)	2	12	8	6	12
C	-	5	5	5	5
VR(C)	2	10	10	10	10
D	-	3	3	3	3
VR(D)	1	3	3	3	3
E	-	5	5	4	6
VR(E)	3	15	15	12	18
F	-	6	6	6	6
VR(F)	2	12	12	12	12
G	-	4	4	4	4
VR(G)	1	4	4	4	4
H	-	5	5	5	5
VR(H)	3	15	15	15	15
<b>Total</b>		<b>89</b>	<b>76</b>	<b>68</b>	<b>92</b>

En base a la matriz morfológica el dosificador por lotes se destaca como el más adecuado y el que cumple con la mayor parte de los requerimientos impuestos por el sistema. Sin embargo, el dosificador de tornillo también cumple con las demandas del sistema por lo que puede ser seleccionado en caso de que por una u otra razón no se pueda utilizar el dosificador por lotes. El dosificador por lotes y de tornillo puede ser del tipo volumétrico o gravimétrico, la distinción entre estos dos tipos queda a criterio propio ya que solo influyen en la forma de hacer el cálculo del material dosificado. Para el proceso de inyección somera se selecciono un dosificador por lotes del tipo gravimétrico.

#### **4.7 Análisis de las Propuestas de Equipos.**

Una vez seleccionados los equipos que se iban a utilizar en la tecnología DEGRINS™, se procedió a desarrollar varias propuestas del funcionamiento que van a tener, o como van a ser dispuestos de manera general, a continuación se presentan las propuestas analizadas:

– Propuesta 1:

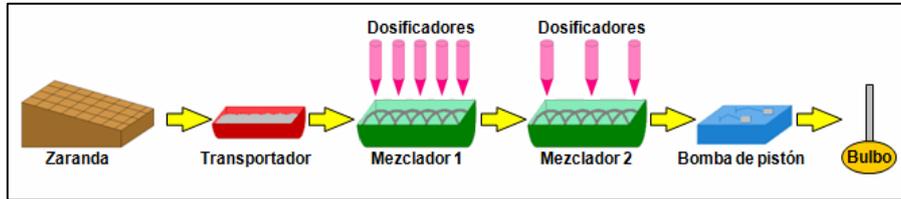


Figura (4.13) Equipos utilizados en la propuesta 1.

Descripción del funcionamiento:

- El ripio proveniente de la zaranda es transportado hasta el mezclador 1.
- Completada la capacidad del mezclador 1 se para el suministro.
- Se da inicio al proceso de mezclado con la finalidad de lograr los gránulos.
- Concluido el proceso de mezclado en 1, se realiza la descarga y el producto obtenido en esta fase es llevado al mezclador 2.
- Vuelve a admitir ripio el mezclador 1 proveniente de la zaranda, mientras que el mezclador 2 comienza el mezclado.
- Cuando el mezclador 1 comience su proceso de mezclado, el 2 debe estar haciendo la descarga a la bomba a fin de realizar la inyección.
- Los transportes entre los equipos se realizarán por medio de tornillos.
- Los aditivos necesarios en cada uno de los mezcladores serán proporcionados por los dosificadores.

Condición:

- La suma del tiempo de llenado para el mezclador 1 más el tiempo de retención en dicho mezclador, debe ser mayor o igual que la suma del tiempo de retención en 2 más el tiempo de inyección. Esto con la finalidad de no producir retardos en el mezclador 1.

Ventajas:

- Menor cantidad de equipos.
- Menor costo en la inversión.
- Al trabajar de manera lineal es de fácil entendimiento.
- La automatización es más sencilla, más fácil de controlar.
- Se dispone de un tiempo mayor para la inyección, lo cual hace de que se pueda tener una bomba de menor capacidad.

Desventajas:

- La capacidad de procesamiento está muy limitada y depende del primer mezclador.
- Debido a que se realiza el procesamiento por lotes y no se dispone de ningún mecanismo para almacenar el ripio proveniente de las zarandas, se debe disminuir al máximo la velocidad de penetración del taladro.
- Si los equipos poseen capacidades muy pequeñas las reducciones en la velocidad del taladro serán frecuentes, inclusive provocando paradas forzosas del taladro.
- Si los mezcladores poseen capacidades muy grandes, se genera un gran sobredimensionamiento en las etapas finales de la perforación, en donde las tasas de generación de ripio disminuyen considerablemente.
- No es posible trabajar en línea con los tiempos del taladro.

– Propuesta 2:

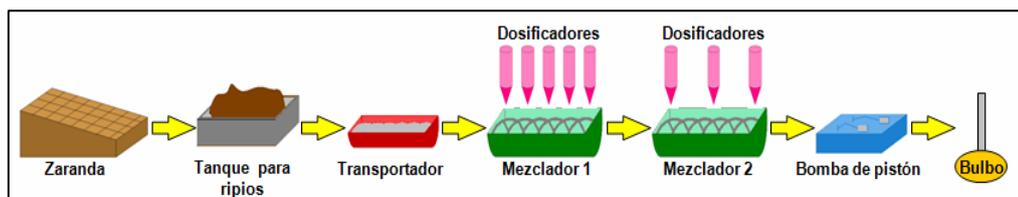


Figura (4.14) Equipos utilizados en la propuesta 2.

#### Descripción del funcionamiento:

- El ripio proveniente de la zaranda cae en un tanque tipo tolva.
- Mediante un tornillo transportador, el ripio se lleva hasta el mezclador 1, parando el suministro una vez alcanzada su máxima capacidad.
- Se da inicio al proceso de mezclado en 1.
- Finalizada esta fase, se hace la descarga de los gránulos al mezclador 2.
- Mientras el mezclador 2 esta mezclando, el mezclador 1 está admitiendo ripio.
- Cuando el mezclador 2 este haciendo la descarga a la bomba para realizar la inyección, el mezclador 1 debe estar mezclando.
- El tanque para ripios en todo momento está recibiendo descargas de la zaranda.
- En cada uno de los mezcladores se dispondrá de dosificadores para regular los aditivos.
- Para los transportes de materiales de un equipo a otro se utilizarán tornillos.

#### Condiciones:

- La suma del tiempo de llenado del mezclador 1 más el tiempo de retención en dicho mezclador, debe ser mayor o igual que la suma del tiempo de retención en 2 más el tiempo de inyección. Esto con la finalidad de no generar retardos en 1.
- El procesamiento de ripios debe llevarse a cabo de tal manera que el tanque no se desborde.

Ventajas:

- Menor cantidad de equipos.
- Menor costo en la inversión.
- Al trabajar de manera lineal es de fácil entendimiento.
- La automatización es más sencilla, más fácil de controlar.
- Al contar con un tanque de almacenamiento de ripios se evitan disminuciones en la velocidad de penetración o paradas en el taladro.

Desventajas:

- Al existir un tanque de almacenamiento, se generan tiempos de retención de ripio impregnados de lodo el cual puede solidificar, trayendo como consecuencia problemas de obstrucción en la descarga del tanque.
- El tanque puede ocupar uno o dos veces la capacidad del primer mezclador esto hace que el mismo tenga grandes dimensiones.
- A medida que se profundiza y por lo tanto disminuyen las tasas de ripio generadas, se va a tener un tanque que si bien cumplía las exigencias iniciales, su sobredimensionamiento se ve reflejado en las etapas finales de perforación, ocupando de esta manera un espacio en el sitio innecesario.

– Propuesta 3:

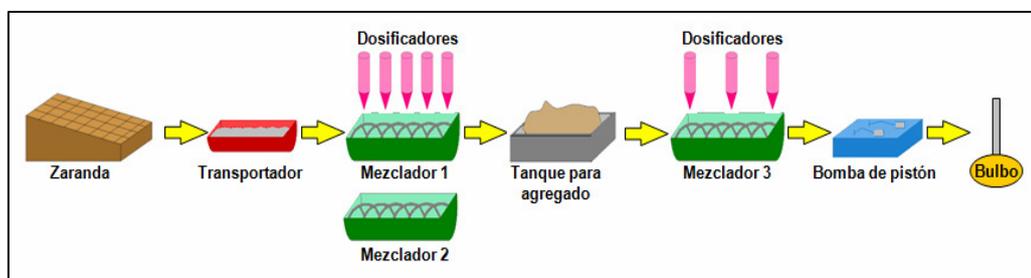


Figura (4.15) Equipos utilizados en la propuesta 3.

#### Descripción del funcionamiento:

- El mezclador 1 admite el ripio proveniente de las zarandas hasta completar su capacidad máxima.
- El mezclador 1 comienza su proceso de mezclado mientras el 2 empieza a admitir ripio de las zarandas.
- Concluido el proceso de mezclado en 1 se procede a realizar la descarga en el tanque para agregados.
- El mezclador 3 realizará su llenado desde el tanque para agregados, para posteriormente formar la mezcla deseada y proceder a hacer la descarga a la bomba para la inyección.
- En cada uno de los mezcladores se colocarán dosificadores para regular los aditivos.
- Para el transporte de materiales de un equipo a otro se utilizarán tornillos.

#### Condiciones:

- El tiempo de retención más descarga al tanque de agregados en los mezcladores 1 y 2 (etapa I) será menor al tiempo de llenado que tendrá cada uno de ellos.
- La capacidad de procesamiento en el mezclador 3 y la bomba debe ser tal que no ocurran desbordes en el taque.

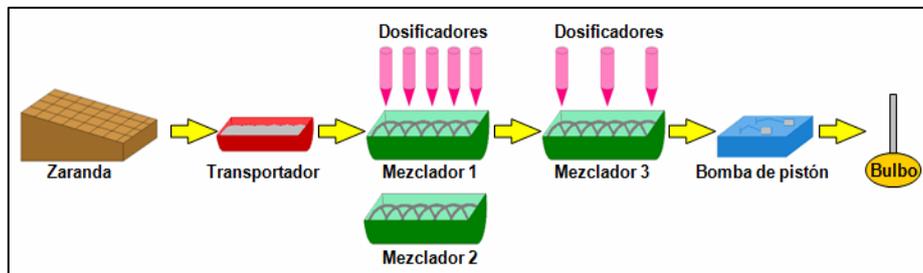
#### Ventajas:

- Se trabaja en línea con los tiempos del taladro.
- Dependiendo a la capacidad del tanque para agregados se puede disminuir las dimensiones del último mezclador, y la capacidad de la bomba.

Desventajas:

- El número de equipos es mayor.
- Las dimensiones del tanque hacen que se ocupe mucho espacio.
- A medida que se profundiza y las tasas de generación de ripio disminuyen el tanque estaría prácticamente vacío, por lo que uso sería innecesario.

– Propuesta 4:



**Figura (4.16) Equipos utilizados en la propuesta 4.**

Descripción del funcionamiento:

- El ripio proveniente de la zaranda se lleva al mezclador 1.
- Completada la capacidad del mezclador 1 comienza el mezclado mientras que el 2 admite ripio proveniente de las zarandas.
- Concluido el proceso de mezclado en 1 se pasan los gránulos obtenidos al mezclador 3.
- El mezclador 2 comienza con su proceso de mezclado, mientras que el 1 está admitiendo ripio de la zaranda.
- El mezclador 3 comienza a mezclar, para posteriormente hacer la descarga a la bomba quien se encargará de realizar la inyección.
- En cada uno de los mezcladores se colocarán dosificadores para regular los aditivos.

- Para el transporte de materiales de un equipo a otro se utilizarán tornillos transportadores.

#### Condiciones:

- El tiempo de retención y descarga en los mezcladores 1 y 2 (etapa I), debe ser menor al tiempo de admisión de ripio.
- El tiempo de transporte más el de retención y descarga a la bomba en el mezclador 3 (etapa 2), debe ser menor al tiempo de llenado en los mezcladores 1 y 2.

#### Ventajas:

- Se trabaja en línea con los tiempos del taladro.
- El proceso es continuo.
- El número de equipos es pequeño.
- Como la dosificación en 1 y 2 no son simultáneas, se pueden utilizar los mismos equipos para ambos mezcladores.

#### Desventajas:

- Las dimensiones de los equipos serán calculadas bajo unas tasas de generación de ripios tomando en consideración las condiciones más desfavorables, sin embargo, debido a que estos valores pueden variar considerablemente, de existir un incremento elevado (pico) en dichas tasas con respecto a las de diseño el sistema puede presentar problemas en el procesamiento, en dicho caso la velocidad del taladro debe ser regulada.

– Propuesta 5:

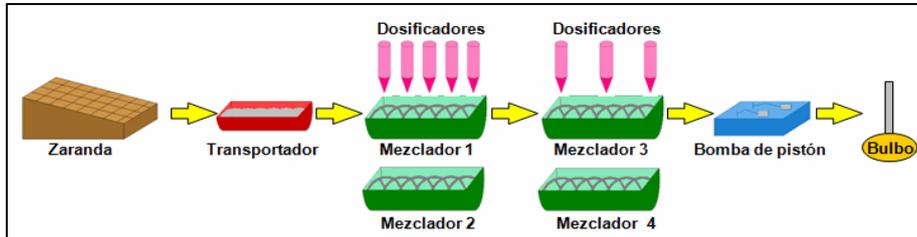


Figura (4.17) Equipos utilizados en la propuesta 5.

Descripción del funcionamiento:

- El mezclador 1 recibe ripio proveniente de la zaranda.
- Completada la capacidad del mezclador 1 comienza el proceso de mezclado y el 2 procede a recibir ripio de las zarandas.
- Una vez obtenidos los gránulos en el mezclador 1 se descargan al mezclador 3.
- El mezclador 1 inicia el llenado mientras el 2 y 3 están mezclando.
- Mientras que el mezclador 3 se encuentra obteniendo las condiciones adecuadas de inyección, el mezclador 4 está admitiendo el agregado proveniente del mezclador 2.
- Obtenidas las condiciones de inyección en 3 se procede a realizar el suministro a la bomba.
- Finalmente el mezclado 1 pasa los gránulos obtenidos al 3, mientras que el 4 pasa a hacer el suministro a la bomba, repitiéndose el proceso reiteradas veces.

Condiciones:

- El tiempo de retención y de descarga en los mezcladores 1 y 2 (etapa I), debe ser menor al tiempo de llenado de los mismos.

- El tiempo de retención y descarga para los mezcladores 3 y 4 debe ser igual o mayor al tiempo de inyección y menor al tiempo de retención de la primera etapa.

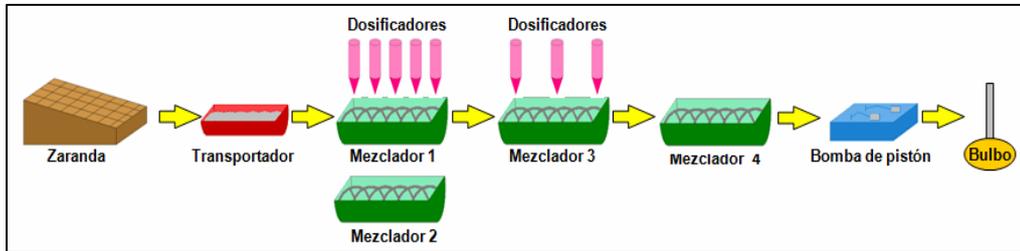
#### Ventajas:

- Debido a que la inyección se hace en un tiempo mayor, la capacidad de la bomba es mucho menor.
- Se trabaja de manera continua con los tiempos del taladro.
- En los mezcladores para ambas etapas por no realizarse la dosificación de manera simultánea se pueden utilizar los mismos equipos.

#### Desventajas:

- El número de equipos es muy grande.
- La inversión es mayor.
- Se debe disponer de mayor espacio físico en el sitio.
- Se tiene un tiempo mayor de retención en la etapa II, el cual es innecesario.
- Las dimensiones de los equipos serán calculadas bajo unas tasas de generación de ripios tomando en consideración las condiciones más desfavorables, sin embargo, debido a que estos valores pueden variar considerablemente, de existir un incremento elevado (pico) en dichas tasas con respecto a las de diseño el sistema puede presentar problemas en el procesamiento, en dicho caso la velocidad del taladro debe ser regulada.

– Propuesta 6:



**Figura (4.18) Equipos utilizados en la propuesta 6.**

Descripción del funcionamiento:

- El ripio proveniente de la zaranda se lleva al mezclador 1.
- Completada la capacidad del mezclador 1 se comienza a mezclar y el 2 pasa a recibir ripio de la zaranda.
- Concluido el proceso de mezclado en 1 se pasan los gránulos obtenidos al mezclador 3.
- El mezclador 2 y 3 comienza con su proceso de mezclado, mientras que el 1 procede a recibir ripio de la zaranda.
- El mezclador 3 tendrá como finalidad crear las condiciones adecuadas de la matriz para posteriormente pasarla al mezclador 4.
- El mezclador 4 tendrá como función mantener las condiciones de inyección y suministro a la bomba.

Condiciones:

- El tiempo de retención y descarga en los mezcladores 1 y 2 (etapa I) debe ser menor o igual al tiempo de llenado de los mismos.
- La inyección debe hacerse de tal forma que en ningún momento se desborde la capacidad del mezclador 4.

#### Ventajas:

- La inyección por llevarse a cabo de manera continua, reduce significativamente los requerimientos de capacidad en la bomba.
- Se trabaja de forma continua con los tiempos del taladro.
- Como la dosificación en 1 y 2 no son simultáneas, se pueden utilizar los mismos equipos para ambos mezcladores.

#### Desventajas:

- El número de equipos es mayor.
- El costo de la inversión es elevado.
- Debido al gran número de equipos, el espacio físico requerido aumenta.
- Como se necesita mantener las condiciones de inyección en el mezclador 4 es necesario disponer de otros equipos dosificadores, o en su defecto buscar la manera de que sean compartidos con los utilizados en el mezclador 3.
- Las dimensiones de los equipos serán calculadas bajo unas tasas de generación de rípios tomando en consideración las condiciones más desfavorables, sin embargo, debido a que estos valores pueden variar considerablemente, de existir un incremento elevado (pico) en dichas tasas con respecto a las de diseño el sistema puede presentar problemas en el procesamiento, en dicho caso la velocidad del taladro debe ser regulada.

De las propuestas anteriormente planteadas todas presentan ventajas y desventajas, pero a fin de escoger una de ellas, existen consideraciones que prevalecen como es el caso del número de equipos utilizados, costos en la inversión, que se trabaje de manera continua con los tiempos del taladro y el espacio físico

disponible, por todas estas razones expuestas se decidió que la propuesta 4 es la que mejor se adapta para llevar a cabo la tecnología DEGRINS<sup>TM</sup>.

## **CAPITULO V**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **5.1 Estudio de las capacidades de los mezcladores y bomba.**

Teniendo en cuenta las tasas de generación de ripio (tabla 4.13), la formulación de aditivos por unidad de volumen para lodos base agua y aceite en cada una de las etapas (tablas 4.3 y 4.4), así como también la cantidad de equipos que se necesitan (tabla 4.5), se procedió a determinar las capacidades que deben poseer los mismos para que trabajen de manera continua con el proceso de perforación que lleva a cabo el taladro.

La figura 4.16 presenta la propuesta planteada para la tecnología DEGRINS™, en donde los procesos de transporte entre los equipos se llevaran a cabo por medio de tornillos transportadores, en la primera etapa se trabajaran con dos mezcladores tipo Ribbon Blender o de cinta los cuales funcionarán de manera alterna, en la etapa II del proceso se contará con un tercer mezclador del mismo tipo a los de la etapa I, para finalmente concluir el proceso con una bomba de pistón de acción simple tipo dúplex. Los aditivos serán proporcionados por dosificadores.

La tabla 5.1 presenta las variables o factores que se tomaron en consideración para realizar el estudio de la propuesta planteada para llevar a cabo la tecnología DEGRINS™.

**Tabla (5.1) Variables y aspectos tomados en cuenta para la determinación de las capacidades requeridas en los equipos.**

<b>Variables a tomar en cuenta.</b>	
Tiempo de retención en la etapa I	$t_{RI}$
Tiempo de transporte entre mezcladores 1-2 al 3	$t_{TM}$
Tiempo de llenado para los mezcladores de la etapa I	$t_{LLI}$
Tiempo de retención en la etapa II	$t_{RII}$
Tiempo de Inyección	$t_Y$
Tasa de ripio generada sin factor de esponjamiento	$T_{RSE}$
Tasa de ripio generada con factor de esponjamiento	$T_{RCE}$
Volumen del lote sin factor de esponjamiento	$V_{BSE}$
Volumen del lote con factor de esponjamiento	$V_{BCE}$
Incremento en volumen del lote por aditivos etapa I	$I_{AI}$
Volumen total del lote en la etapa I	$V_{TBI}$
Capacidad de los mezcladores 1 y 2 de la etapa I	$C_{MI}$
Incremento en volumen del lote por aditivos etapa II	$I_{AII}$
Volumen total del lote en la etapa II	$V_{TBII}$
Capacidad del mezclador 3 de la etapa II	$C_{MII}$
Capacidad de la bomba	$CB$
Capacidad de la bomba recomendada	$CB_R$
Número de lotes	$N_B$
Número de lotes por mezclador	$N_{BM}$
Número de bulbos	$NB$
Volumen por bulbo	$VB$

En vista de que el procesamiento de ripios se tiene que llevar a cabo de manera continua con los tiempos del taladro, la propuesta debe tener la capacidad de procesar la tasa de ripio generada en cada una de las perforaciones, razón por la cual se tomó el parámetro tiempo como el estipulado inicialmente para cada una de las etapas; si los valores de capacidades requeridas no se corresponden a los que se pudiesen conseguir en el mercado se tendría que hacer ajustes en dichos tiempos o buscar otras alternativas para la propuesta. La tabla 5.2 presenta los tiempos establecidos.

**Tabla (5.2) Tiempos establecidos para la propuesta de inyección somera.**

<b>Tiempos</b>	
$t_{RI}$ (min)	15
$t_{TM}$ (min)	2
$t_{RII}$ (min)	8

El tiempo de retención en cada una de las etapas fue determinado sacando primero, cuanto se llevaría la dosificación (un estimado) y a este se le sumo un tiempo recomendado para el mezclado obtenido en estudios de laboratorio los cuales fueron cotejados con los requeridos en pruebas escala real; el de transporte se saco tomando en consideración la duración de la descarga en los mezcladores. Con estos tiempos establecidos, se determinó la duración de cada lote, entendiéndose como lote volumen de ripio tratado por un mezclador durante un determinado lapso de tiempo.

En función de que los dos mezcladores de la etapa I trabajen de manera alterna recibiendo siempre ripio proveniente de la zaranda, el tiempo que un mezclador demore llenando tiene que ser igual al tiempo que el otro mezclador tarde en su retención y descarga; en cuanto a la segunda fase el tiempo de transporte de los gránulos obtenidos previamente es el mismo que tarda el llenado del mezclador tres. En la tabla 5.2 se aprecia como la retención en la etapa II es menor que en I, esto se debe a que la segunda fase solo busca añadir agua y cemento a los gránulos de la primera etapa con la finalidad de alcanzar las condiciones adecuadas de inyección, por lo tanto el tiempo de inyección se calcula de tal forma de que la duración de un lote en la primera etapa sea el mismo que se tarda en el procesamiento de la segunda más la inyección del mismo. Bajo estas condiciones se sacaron las ecuaciones 5.1 y 5.2 que permitieron calcular el tiempo de llenado en la etapa I e inyección respectivamente.

$$t_{LLI} = t_{RI} + t_{TM} \quad (5.1)$$

$$t_Y = t_{LLI} - t_{TM} - t_{RII} \quad (5.2)$$

**Tabla (5.3) Tiempo de llenado para los mezcladores 1 y 2 (Etapa I) e inyección.**

Tiempos	
$t_{LLI}$ (min)	17
$t_Y$ (min)	7

Como se había señalado anteriormente existe un factor de esponjamiento que hay que tener en cuenta al momento de determinar el volumen de los primeros mezcladores (etapa I), ya que aquí se trabajan con sólidos los cuales no se encuentran compactados generando de esta manera espacios de separación entre cada uno de ellos que son ocupados por aire, dicho espacio de aire en la etapa II es desplazado por la mezcla agua cemento, en vista de esto se establecieron dos volúmenes por lote en cada una de las perforaciones, que son con y sin factor de esponjamiento. Los volúmenes de los mismos no son más que las tasas de generación de ripio por el tiempo de llenado que tarda cada uno de los mezcladores o tiempo de retención (dosificación y mezclado) más el de transporte. Las ecuaciones 5.3 y 5.4 presentan como fueron obtenidos cada uno de ellos.

$$V_{BSE} = T_{RSE} \cdot t_{LLI} \quad (5.3)$$

$$V_{BCE} = T_{RCE} \cdot t_{LLI} \quad (5.4)$$

Posterior a esto se calculó el incremento en el volumen por aditivos, la siguiente ecuación muestra como se obtuvieron estos valores:

$$I_A = V_{BSE} \times FUV(A) + V_{BSE} \times FUV(B) + \dots + V_{BSE} \times FUV(N) \quad (5.5)$$

En donde FUV, es la formulación por unidad de volumen para cada uno de los aditivos mostrados en las tablas 4.3 y 4.4 dicho incremento se hizo sin tomar en cuenta el factor de esponjamiento ya que este es un espacio ocupado por aire, razón por la cual el volumen utilizado fue el del ripio en estado natural más el obtenido por impregnación, bien sea para lodos base agua o lodos base aceite.

Finalmente se obtuvo cuales eran los volúmenes por bache que se iban a tener en cada una de las etapas.

$$V_{TBI} = V_{BCE} + I_{AI} \quad (5.6)$$

$$V_{TBII} = V_{BSE} + I_{AI} + I_{AII} \quad (5.7)$$

La capacidad de los mezcladores requerida en cada perforación y por etapa se reflejaron aproximando el volumen total de cada lote en su respectiva etapa al entero superior, esto con la finalidad de que sirviese como un factor de seguridad y a su vez facilitase la posterior búsqueda del equipo en el mercado.

En cuanto a la capacidad de la bomba, se determinó calculando cual era el volumen que debería inyectar en el tiempo estipulado (tabla 5.3) a fin de no generar retrasos en ninguna de las etapas, dicho valor se llevo a m<sup>3</sup>/h y también se redondeó al entero superior.

$$CB = \frac{V_{TBII} \cdot 60}{t_Y} \quad (5.8)$$

La tabla 5.4 muestra todos los resultados obtenidos. Con resaltador aparecen señaladas las capacidades requeridas en cada perforación y por etapa.

**Tabla (5.4) Resultados obtenidos en los requerimientos de capacidad por perforación en cada una de las etapas.**

Análisis por bache	Perforaciones			
	Primera	Segunda	Tercera	Cuarta
T <sub>RSE</sub> (m <sup>3</sup> /min)	0,13	0,08	0,04	0,01
T <sub>RCE</sub> (m <sup>3</sup> /min)	0,18	0,11	0,05	0,01
V <sub>BSE</sub> (m <sup>3</sup> )	2,18	1,31	0,61	0,17
V <sub>BCE</sub> (m <sup>3</sup> )	2,99	1,80	0,83	0,24
<b>Etapas I</b>				
I <sub>AI</sub> (m <sup>3</sup> )	4,34	2,61	1,29	0,37
V <sub>TBI</sub> (m <sup>3</sup> )	7,33	4,41	2,12	0,60
C <sub>MI</sub> (m <sup>3</sup> )	8	5	3	1
<b>Etapas II</b>				
I <sub>AII</sub> (m <sup>3</sup> )	4,07	2,45	1,13	0,32
V <sub>TBII</sub> (m <sup>3</sup> )	10,60	6,37	3,03	0,86
C <sub>MII</sub> (m <sup>3</sup> )	11	7	4	1
CB (m <sup>3</sup> /h)	90,85	54,57	25,97	7,40
CB <sub>R</sub> (m <sup>3</sup> /h)	91	55	26	8

Se determinó el número de lotes para cada una de las etapas y para cada uno de los mezcladores así como también el número de bulbos que se tienen que formar, para los cuales se estableció como tope 200 m<sup>3</sup> y se consideró que al pasar de una perforación a otra se tiene que crear un nuevo bulbo, esto por el tiempo que tarda el proceso en el taladro lo cual puede traer como consecuencia que el bulbo comience a fraguar y dificulte la inyección.

$$N_B = \frac{T_T}{t_{LLI}} \quad (5.9)$$

$$NB = \frac{N_B \cdot V_{TBII}}{VB} \quad (5.10)$$

En donde  $T_T$  es el tiempo total de actividad del taladro en cada perforación, valores mostrados en la tabla 4.8. Los resultados obtenidos se presentan a continuación.

**Tabla (5.5) Número de lotes y bulbos.**

Análisis por lote	Perforaciones			
	Primera	Segunda	Tercera	Cuarta
$N_B$	30	116	600	636
$N_{BMI}$	15	58	300	318
$N_{BMII}$	15	58	300	318
$N_{BMIII}$	30	116	600	636
NB	2	4	10	3

En vista de que las capacidades requeridas en cada uno de los equipos por perforación difieren mucho (valores mostrados en la tabla 5.4), se decidió plantear tres escenarios:

**Tabla (5.6) Escenarios planteados para llevar a cabo la tecnología de inyección somera.**

Escenarios	
1	<b>Etapa I y II para todas las perforaciones.</b>
2	<b>Etapa I y II para la 2<sup>DA</sup>, 3<sup>ERA</sup> y 4<sup>TA</sup> perforación. En la 1<sup>ERA</sup> solo se llevará a cabo la Etapa I.</b>
3	<b>Etapa I y II para la 3<sup>ERA</sup> y 4<sup>TA</sup> perforación. En la 1<sup>ERA</sup> y 2<sup>DA</sup> solo se llevará a cabo la Etapa I.</b>

La obtención de los gránulos de la etapa I tiene como finalidad ajustar el material contaminante al decreto 2635, mientras que la inyección si bien garantiza un segundo encapsulamiento, busca realizar la disposición que van a tener los gránulos formados. El escenario 1 realiza la completa disposición del ripio generado pero requiere de capacidades en los equipos muy grandes razón por la cual surgieron los escenarios 2 y 3. Para poder ver cuál de ellos presenta mayores ventajas para la

implementación de la tecnología de inyección somera se realizó el estudio de cada uno.

### 5.1.1 Análisis del escenario 1.

	<b>1</b>	<b>Etapas I y II para todas las perforaciones.</b>
--	----------	--

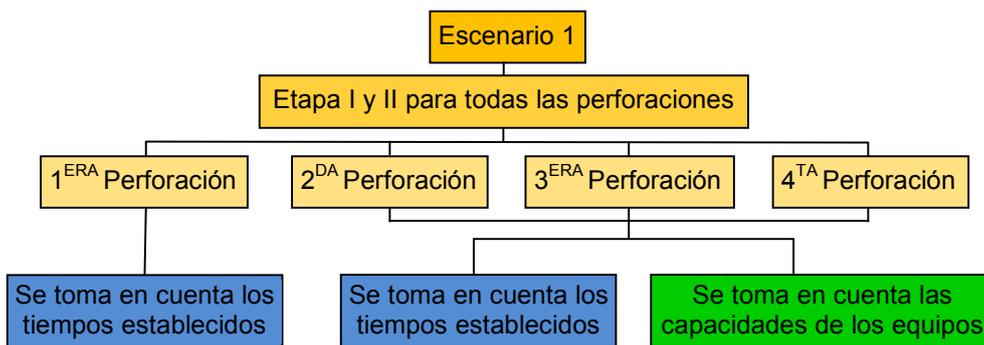
De la tabla 5.4 se puede observar cuáles son las capacidades de los equipos requeridas para este escenario y los tiempos establecidos inicialmente serán los que se tomarán en cuenta, las siguientes tablas presentan un resumen:

**Tabla (5.7) Escenario 1. a) Capacidades propuestas. b) Tiempos establecidos.**

Capacidades propuestas	
$C_{MI}$ (m <sup>3</sup> )	8
$C_{MII}$ (m <sup>3</sup> )	11
$CB_R$ (m <sup>3</sup> /h)	91
NB	19

Tiempos establecidos	
$t_{RI}$ (min)	15
$t_{TM}$ (min)	2
$t_{LLI}$ (min)	17
$t_{RII}$ (min)	8
$t_Y$ (min)	7

La figura 5.1 muestra como es el desarrollo del escenario 1.



**Figura (5.1) Desarrollo del escenario 1.**

A medida que se avanza en la profundidades del pozo y se pasa de una perforación a otra las tasas de ripio disminuyen, y por lo tanto las capacidades de

los equipos requeridas también, creando así un sobredimensionamiento el cual fue calculado haciendo la diferencia de las capacidades de los equipos propuestas (tabla 5.7) con las requeridas en cada perforación por etapa (tabla 5.4), las siguientes ecuaciones presentan como se realizaron los cálculos y la tabla 5.8 los resultados obtenidos:

$$C_{MI(Sobre\ dimensionamiento)} = C_{MI(propuesta)} - V_{TBI(perforación)} \quad (5.11)$$

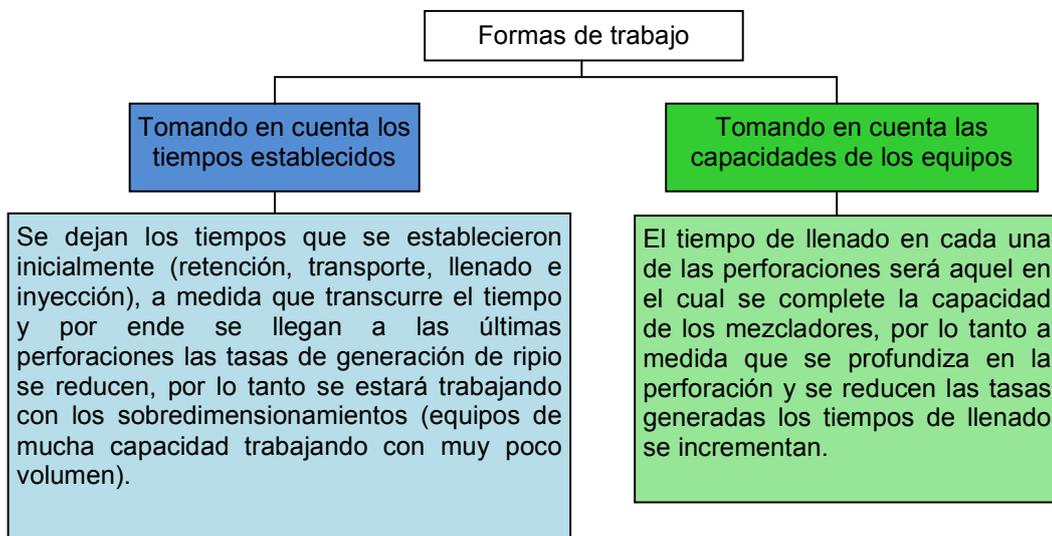
$$C_{MII(Sobre\ dimensionamiento)} = C_{MII(propuesta)} - V_{TBII(perforación)} \quad (5.12)$$

$$CB_{R(Sobre\ dimensionamiento)} = CB_{R(Propuesta)} - CB_{(Perforación)} \quad (5.13)$$

**Tabla (5.8) Sobredimensionamiento de los equipos para el escenario 1.**

Sobredimensionamiento de los equipos	Perforaciones			
	Primera	Segunda	Tercera	Cuarta
$C_{MI} (m^3)$	0,67	3,59	5,88	7,40
$C_{MII} (m^3)$	0,40	4,63	7,97	10,14
$CB_R (m^3/h)$	0,15	36,43	65,03	83,60

El sobredimensionamiento de los equipos se hace necesario para poder tratar la tasa generada durante la primera perforación. Cuando se llega a la segunda, tercera y cuarta se generan dos formas de trabajo, siguiendo los tiempos establecidos o las capacidades de los equipos.



**Figura (5.2) Formas de trabajo para los equipos de la tecnología DEGRINS™ cuando se profundiza en la perforación.**

**– Tomando en cuenta los tiempos establecidos.**

Como los tiempos serán los reflejados en la tabla (5.7) indistintamente de la perforación que se esté llevando a cabo, a medida que se profundiza se disminuye la capacidad usada de los equipos, valores que se presentan a continuación:

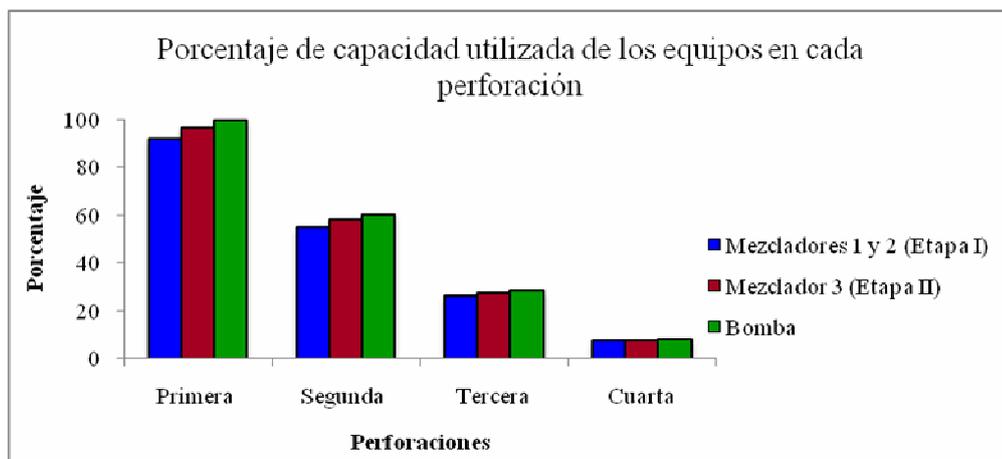
$$\%C_{MI} = 100 - \frac{C_{MI(\text{sobredimensionamiento})}}{C_{MI(\text{Propuesta})}} \cdot 100 \quad (5.14)$$

$$\%C_{MII} = 100 - \frac{C_{MII(\text{Sobredimensionamiento})}}{C_{MII(\text{Propuesta})}} \cdot 100 \quad (5.15)$$

$$\%CB_R = 100 - \frac{CB_{R(\text{Sobredimensionamiento})}}{CB_{R(\text{Propuesta})}} \cdot 100 \quad (5.16)$$

**Tabla (5.9) Capacidad de uso de los equipos para el escenario 1 tomando en cuenta los tiempos establecidos.**

Capacidades utilizadas en %				
Equipo	Perforaciones			
	Primera	Segunda	Tercera	Cuarta
$C_{MI}(m^3)$	91,67	55,07	26,52	7,56
$C_{MII}(m^3)$	96,35	57,88	27,55	7,85
$CB_R(m^3/h)$	99,83	59,97	28,54	8,13



**Gráfica (5.1) Porcentaje de capacidad utilizada de los equipos en cada perforación para el escenario 1 tomando en cuenta los tiempos establecidos.**

Observaciones: el que no se utilice el 100 % de la capacidad de los equipos en la primera perforación debido a la aproximación realizada al entero superior, sirve como factor de seguridad en caso de un incremento en la tasa generada o ajuste en los aditivos necesarios. El problema de trabajar con los tiempos establecidos es que no se aprovechan las capacidades máximas que poseen los equipos, generando por lo tanto pérdidas en la inversión y en el consumo de energía.

**– Tomando en cuenta las capacidades de los equipos.**

En este caso hay que determinar el tiempo que dura el llenado de los mezcladores 1 y 2 en cada una de las perforaciones, el cual aumenta a medida que se profundiza como consecuencia de la reducción existente en las tasas de generación creando de esta manera un tiempo de parada ya que la capacidad de procesamiento es mayor a lo generado. Las ecuaciones 5.17 y 5.18 muestran como se determinaron estos dos tiempos.

$$t_{AC(perforación)} = \frac{C_{MI(propuesta)} \cdot t_{LLI(establecido)}}{V_{TBI(perforación)}} \quad (5.17)$$

$$t_{PBM} = t_{LLI} - t_{RI} - t_{TM} \quad (5.18)$$

En donde;

$t_{AC}$  = Tiempo en alcanzar la capacidad de los mezcladores 1 y 2 (etapa I).

$t_{PBM}$  = Tiempo de parada en los mezcladores para comenzar con el siguiente lote.

En la ecuación 5.17 el valor de capacidad propuesta fue sacado de la tabla 5.18 así como también el tiempo de llenado establecido, mientras que el volumen por lote para cada perforación son valores que aparecen reflejados en la tabla 5.4.

Al crearse un tiempo de llenado mayor, el número de lotes disminuye; por medio de la ecuación 5.9 fueron calculados nuevamente, pero en este caso los tiempos a emplear son aquellos que se tienen para alcanzar la capacidad de los equipos por perforación ( $t_{AC}$ ).

Con el número de lotes y los tiempos de parada durante cada uno de ellos, fue obtenido el tiempo total de parada ( $t_{PT}$ ) y de funcionamiento ( $t_{FT}$ ) para los equipos por cada una de las perforaciones (ecuaciones 5.19 y 5.20).

$$t_{PT} = t_{PBM} \cdot N_B \quad (5.19)$$

$$t_{FT} = T_T - t_{PT} \quad (5.20)$$

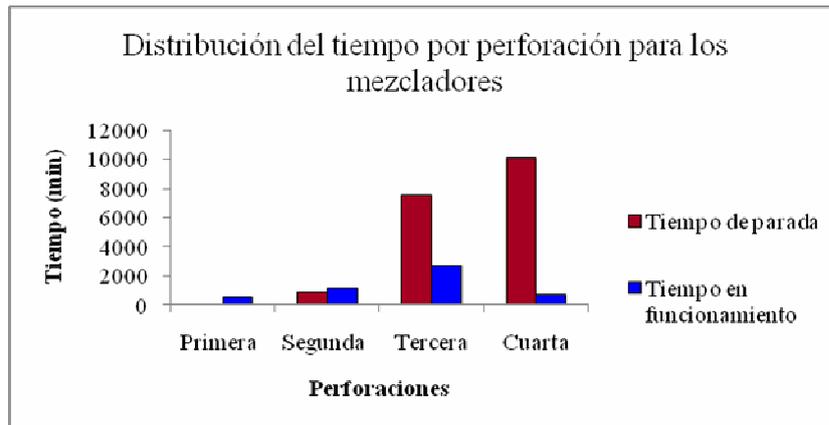
**Tabla (5.10) Tiempo en alcanzar la capacidad, parada, funcionamiento y número de lotes por perforación. Escenario 1; tomando en cuenta las capacidades de los equipos.**

	Perforaciones			
	Primera	Segunda	Tercera	Cuarta
$t_{AC}$ (min)	17	30	64	224
$t_{PBM}$ (min)	0	13	47	207
$N_B$	30	66	160	49
$N_{BM}$ (mezclador 1)	15	33	80	25
$N_{BM}$ (mezclador 2)	15	33	80	24
$N_{BM}$ (mezclador 3)	30	66	160	49
$t_{PT}$ (min)	0	858	7520	10143
$t_{FT}$ (min)	500	1105	2675	654

Los tiempos de parada y funcionamiento de la tabla anterior son iguales para las etapas I y II, solo que en la primera de ellas al existir dos mezcladores es la mitad de ese tiempo. Finalmente estos resultados fueron llevados a porcentaje a fin de que se pueda apreciar mejor.

**Tabla (5.11) Porcentajes de tiempo en funcionamiento y parada de los equipos. Escenario 1.**

% de Tiempo	Parada	Funcionando
Mezclador 1 y 2 (etapa I)	78,96	21,03
Mezclador 3 (etapa II)	78,96	21,03



**Gráfica (5.2) Distribución del tiempo por perforación para los mezcladores en el escenario 1; tomando en cuenta las capacidades de los equipos.**



**Gráfica (5.3) Porcentaje de la distribución del tiempo total para los mezcladores en el escenario 1; tomando en cuenta las capacidades de los equipos.**

Observaciones: Los tiempos en que se alcanzan las capacidades fueron reflejados en enteros inferiores es decir solamente en minutos, los segundos restantes no se reflejan, esto para facilitar los resultados presentados, se puede observar como a medida que se profundiza las paradas son cada vez mayores, esto trae como consecuencia pérdidas en la inversión, además de ocupar espacios en el sitio de perforación que con el tiempo se hacen cada vez más ociosos.

### 5.1.2 Análisis del escenario 2.

2	Etapa I y II para la 2 <sup>DA</sup> , 3 <sup>ERA</sup> y 4 <sup>TA</sup> perforación. En la 1 <sup>ERA</sup> solo se llevará a cabo la Etapa I.
---	--

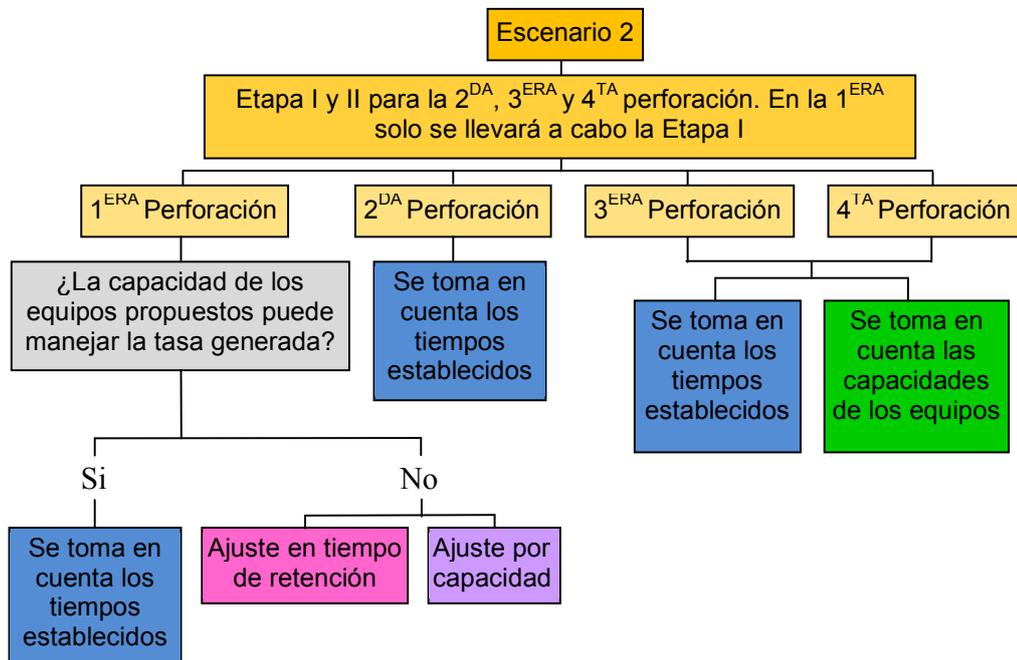
Las tablas 5.12 a) y b) presentan un resumen de las capacidades de los equipos propuestas para este escenario así como los tiempos establecidos.

**Tabla (5.12) Escenario 2. a) Capacidades propuestas b) Tiempos establecidos.**

Capacidades propuestas	
$C_{MI}$ (m <sup>3</sup> )	5
$C_{MII}$ (m <sup>3</sup> )	7
$CB_R$ (m <sup>3</sup> /h)	55
NB	17

Tiempos establecidos	
$t_{RI}$ (min)	15
$t_{TM}$ (min)	2
$t_{LLI}$ (min)	17
$t_{RII}$ (min)	8
$t_Y$ (min)	7

La figura 4.23 muestra como es el desarrollo del escenario 2.



**Figura (5.3) Desarrollo del escenario 2.**

Para hallar el sobredimensionamiento generado para las perforaciones 2, 3 y 4 se emplearon las ecuaciones 5.11, 5.12 y 5.13, los datos en este caso salen de las tablas 5.4 y 5.12, obteniendo de esta manera los siguientes resultados:

**Tabla (5.13) Sobredimensionamiento de los equipos para el escenario 2.**

Sobredimensionamiento de los equipos	Perforaciones		
	Segunda	Tercera	Cuarta
$C_{MI} (m^3)$	0,59	2,88	4,40
$C_{MII} (m^3)$	0,63	3,97	6,14
$CB_R (m^3/h)$	0,43	29,03	47,60

Como van a trabajar los tres mezcladores de la propuesta en la formación de gránulos durante la primera perforación, se debe cumplir que el tiempo de retención más el tiempo de transporte debe ser igual al tiempo que dura el llenado de dos mezcladores, esto con la finalidad de admitir ripio proveniente de la zaranda en todo momento. La ecuación 5.17 fue la empleada para hallar el tiempo de llenado de los mezcladores durante la primera perforación, en donde las capacidades y el tiempo establecido para el llenado son sacados de la tabla 5.12, mientras que el volumen generado en el bache de la primera perforación (etapa I) aparece en la tabla 5.4. Los resultados obtenidos fueron redondeados a enteros inferiores presentándose a continuación:

**Tabla (5.14) Tiempo en alcanzar la capacidad de los mezcladores propuestos (escenario 2) para la primera perforación.**

Tiempo de llenado de los mezcladores propuestos $t_{AC}$ (min)	Perforación
	Primera
Etapa I	11
Etapa II	16

Debido a que los dos mezcladores de la etapa I difieren en capacidad al que se tiene en II, se trabajará tomando en cuenta el tiempo de llenado para los

primeros, esto con la finalidad de garantizar que siempre se cumpla la condición antes expuesta.

La siguiente ecuación permitió calcular el tiempo para la condición planteada:

$$t_{LL-condición} = \frac{t_{RI(propuesto)} + t_{TM(propuesto)}}{2} = \frac{t_{LL(propuesto)}}{2} \quad (5.21)$$

El resultado fue de 9 minutos llevado al entero superior, es decir no se tomó en cuenta los segundos. Como se puede observar el tiempo que duran los mezcladores en alcanzar su máxima capacidad (tabla 5.14) es mayor al que se debe tener para cumplir la condición, por lo tanto no es necesario hacer ningún tipo de ajuste para tratar el ripio de la primera perforación.

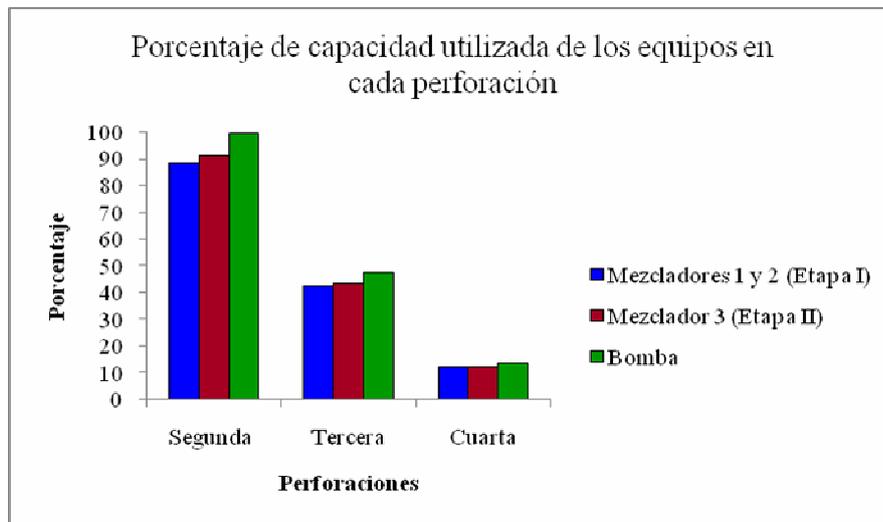
Culminada la formación de gránulos en la primera perforación, se generan dos formas de trabajo para la tercera y cuarta vez ver figuras 5.2 y 5.3.

**–Tomando en cuenta los tiempos establecidos.**

Las ecuaciones 5.14, 5.15 y 5.16 permitieron hallar el porcentaje de capacidad utilizada en cada uno de los equipos como consecuencia de la reducción en las tasas de generación a medida que se profundiza en la perforación, esta vez los datos para realizar los cálculos fueron tomados de las tablas 5.12 y 5.13. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

**Tabla (5.15) Capacidad de uso de los equipos para el escenario 2 cuando se toma en cuenta los tiempos establecidos.**

Capacidades utilizadas en %			
Equipo	Perforaciones		
	Segunda	Tercera	Cuarta
$C_{MI}$ (m <sup>3</sup> )	88,11	42,43	12,09
$C_{MII}$ (m <sup>3</sup> )	90,96	43,29	12,33
$CB_R$ (m <sup>3</sup> /h)	99,22	47,22	13,46



**Gráfica (5.4) Porcentaje de capacidad utilizada de los equipos en cada perforación para el escenario 2; tomando en cuenta los tiempos establecidos.**

**– Tomando en cuenta la capacidad de los equipos.**

Con los valores de las tablas 5.4 y 5.12 fueron evaluadas las ecuaciones 5.17 y 5.18 obteniendo de esta manera los tiempos en que se logra alcanzar la capacidad de los equipos propuestos y así como el de parada por cada lote para este escenario. Posteriormente se realizaron el resto de los cálculos por medio de las ecuaciones 5.9, 5.19 y 5.20. La tabla 5.16 presenta los resultados obtenidos.

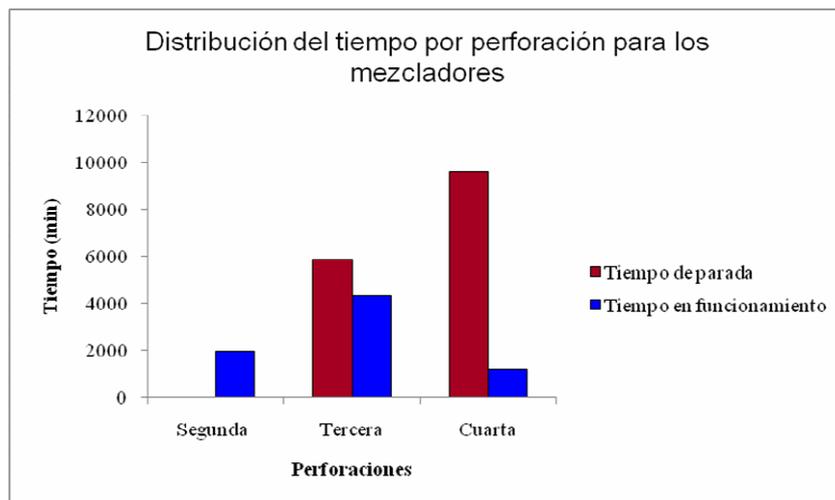
**Tabla (5.16) Tiempo en alcanzar la capacidad, parada, funcionamiento y número de lotes por perforación. Escenario 2; tomando en cuenta las capacidades de los equipos.**

	Perforaciones		
	Segunda	Tercera	Cuarta
$t_{AC}$ (min)	17	40	140
$t_{PBM}$ (min)	0	23	123
$N_B$	116	255	78
$N_{BM}$ (mezclador 1)	58	128	39
$N_{BM}$ (mezclador 2)	58	127	39
$N_{BM}$ (mezclador 3)	116	255	78
$t_{PT}$ (min)	0	5865	9594
$t_{FT}$ (min)	1963	4330	1203

Al igual que en el escenario 1 el tiempo de parada y de funcionamiento es igual para las dos etapas, pero en la primera debido a que existen dos mezcladores es la mitad para cada uno de ellos, la tabla 5.17 presenta la distribución de tiempo en porcentaje para los mezcladores.

**Tabla (5.17) Porcentajes de tiempo en funcionamiento y parada de los equipos. Escenario 2.**

% de Tiempo	Parada	Funcionando
Mezclador 1 y 2 (etapa I)	67,34	32,65
Mezclador 3 (etapa II)	67,34	32,65



**Gráfica (5.5) Distribución del tiempo total por perforación para los mezcladores en el escenario 2; tomando en cuenta las capacidades de los equipos.**



Gráfica (5.6) Porcentaje de la distribución del tiempo total para los mezcladores en el escenario2; tomando en cuenta las capacidades de los equipos.

### 5.1.3 Análisis del escenario 3

	3	Etapa I y II para la 3 <sup>ERA</sup> y 4 <sup>TA</sup> perforación. En la 1 <sup>ERA</sup> y 2 <sup>DA</sup> solo se llevará a cabo la Etapa I.
--	---	--

La tabla 5.18 a) y b) presenta un resumen de las capacidades de los equipos propuestas para este escenario así como los tiempos establecidos.

Tabla (5.18) Escenario 3. a) Capacidades propuestas b) Tiempos establecidos.

Capacidades propuestas		Tiempos establecidos	
$C_{MI}$ (m <sup>3</sup> )	3	$t_{RI}$ (min)	15
$C_{MII}$ (m <sup>3</sup> )	4	$t_{TM}$ (min)	2
$CB_R$ (m <sup>3</sup> /h)	26	$t_{LLI}$ (min)	17
NB	13	$t_{RII}$ (min)	8
		$t_Y$ (min)	7

La figura 5.4 muestra como es el desarrollo del escenario 3.

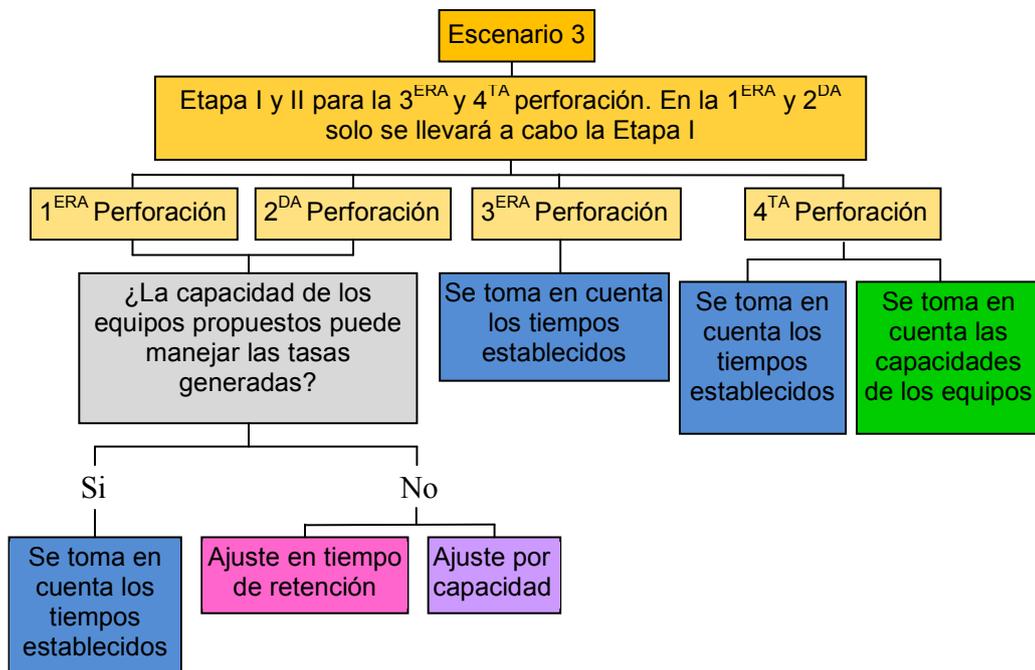


Figura (5.4) Desarrollo del escenario 3.

Para hallar el sobredimensionamiento generado en la tercera y cuarta perforación se emplearon las ecuaciones 5.11, 5.12 y 5.13, los datos en este caso salen de las tablas 5.4 y 5.18, resultados que se muestran a continuación:

Tabla (5.19) Sobredimensionamiento de los equipos para el escenario 3.

Sobredimensionamiento de los equipos	Perforaciones	
	Tercera	Cuarta
$C_{MI} (m^3)$	0,88	2,40
$C_{MII} (m^3)$	0,97	3,14
$CB_R (m^3/h)$	0,03	18,60

En este escenario se utilizaron todos los mezcladores de la etapa I y II para formar los gránulos durante la primera y segunda perforación, para ello es necesario verificar si los equipos propuestos pueden manejar las tasas generadas, razón por la cual se utilizó la ecuación 5.17 para hallar los tiempos de llenado o tiempo que tarda en alcanzar la máxima capacidad cada mezclador a la tasa de

generación, los datos fueron tomados de las tablas 5.4 y 5.18 teniendo como resultado:

**Tabla (5.20) Tiempo en alcanzar la capacidad de los mezcladores propuestos (escenario 3) para la primera y segunda perforación.**

Tiempo de llenado de los mezcladores propuestos $t_{AC}$ (min)	Perforaciones	
	Primera	Segunda
Etapa I	6	11
Etapa II	9	15

Se calculó el tiempo mínimo que debe durar el llenado para que puedan ser procesadas todas las tasas generadas sin ningún problema, utilizando la ecuación 5.21 con los valores de la tabla 5.18, obteniendo como resultado 9 minutos aproximando el resultado obtenido al entero superior, es decir sin segundos. Como se puede observar en la tabla 5.20 cuando se está en la primera perforación el tiempo de la etapa I (6 min) es menor al que se debe tener para cumplir la condición (9 min), por ende hay que realizar un ajuste, ver figura 5.4. Por otro lado durante la segunda perforación no se presenta problemas.

**– Ajuste por capacidad para la primera perforación.**

Este ajuste consiste en buscar la capacidad que deben tener los mezcladores para que puedan tratar todo el ripio generado, en dicho caso se toma en cuenta el tiempo de la condición y la tasa generada.

$$C_{M(ajustada)} = \frac{\frac{t_{RI} + t_{TM}}{2} \cdot V_{TBI}}{t_{LLI}} \quad (5.22)$$

De la tabla 5.18 son tomados los datos excepto el volumen del lote para la primera perforación  $V_{TBI}$  el cual aparece en la tabla 5.4, dando como resultado:

**Tabla (5.21) Ajuste por capacidad para los mezcladores. Escenario 3.**

Capacidades ajustadas	
$C_{MI} (m^3)$	4
$C_{MII} (m^3)$	4

De realizar este ajuste, los valores de sobredimensionamiento para la tercera y cuarta perforación se incrementan, con las ecuaciones 5.11 – 5.12 fueron recalculados siendo esta vez las capacidades de los mezcladores las obtenidas en la tabla 5.21.

**Tabla (5.22) Sobredimensionamiento de los equipos por ajuste de capacidad para el escenario 3.**

Sobredimensionamiento de los equipos	Perforaciones	
	Tercera	Cuarta
$C_{MI} (m^3)$	1,88	3,40
$C_{MII} (m^3)$	0,97	3,14

**– Ajuste en los tiempos de retención.**

Este ajuste consiste en reducir el tiempo de retención específicamente el de mezclado que es el que presenta mayor flexibilidad, de tal forma que sea igual al que se establece en la condición. Para hallar el tiempo de retención ajustado se empleó la ecuación 5.23, siendo el valor de capacidad, tiempo de llenado y transporte obtenidos en la tabla 5.18, el volumen del lote es el de la primera perforación, tabla 5.4.

$$t_{RI(ajustado)} = 2 \cdot \left( \frac{C_{MI} \cdot t_{LLI}}{V_{TBI}} \right) - t_{TM} \quad (5.23)$$

**Tabla (5.23) Tiempo de retención ajustado para la primera perforación. Escenario 3.**

<b>Tiempo de retención ajustado</b>	
$t_{RI}$ (min)	11

Debido a que es posible reducir el tiempo de mezclado por ser la diferencia solamente 4 min con respecto al establecido inicialmente (tabla 5.18), se decidió tomar el ajuste por tiempo de retención como la alternativa al momento de procesar los rípios generados en la primera perforación.

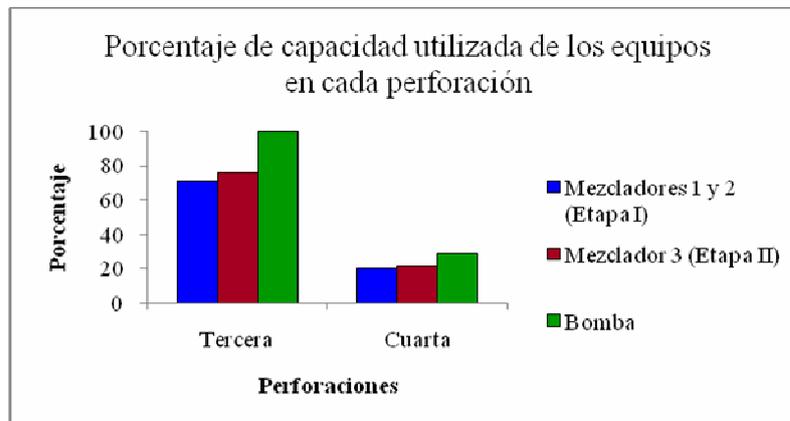
Al llegar a la cuarta perforación se genera dos formas de trabajo tal como se refleja en las figuras 5.2 y 5.4.

**– Tomando en cuenta los tiempos establecidos.**

Las ecuaciones 5.14, 5.15 y 5.16 permitieron hallar el porcentaje de capacidad utilizada en cada uno de los equipos como consecuencia de la reducción en las tasas de generación a medida que se profundiza en la cuarta perforación, siendo los datos obtenidos de las tablas 5.18 y 5.19. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

**Tabla (5.24) Capacidad de uso de los equipos para el escenario 3 cuando se toma en cuenta los tiempos establecidos.**

<b>Capacidades utilizadas en %</b>		
<b>Equipo</b>	<b>Perforaciones</b>	
	<b>Tercera</b>	<b>Cuarta</b>
$C_{MI}$ (m <sup>3</sup> )	70,72	20,15
$C_{MII}$ (m <sup>3</sup> )	75,76	21,58
$CB_R$ (m <sup>3</sup> /h)	99,90	28,46



Gráfica (5.7) Porcentaje de capacidad utilizada de los equipos en cada perforación para el escenario 3; tomando en cuenta los tiempos establecidos

– Tomando en cuenta la capacidad de los equipos.

Con los valores de las tablas 5.4 y 5.18 fueron evaluadas las ecuaciones 5.17 y 5.18 obteniendo de esta manera los tiempos en que se logra alcanzar la capacidad de los equipos propuestos y así como el de parada por cada lote para este escenario. Posteriormente se realizó el resto de los cálculos por medio de las ecuaciones 5.9, 5.19 y 5.20. La tabla 5.25 presenta los resultados obtenidos.

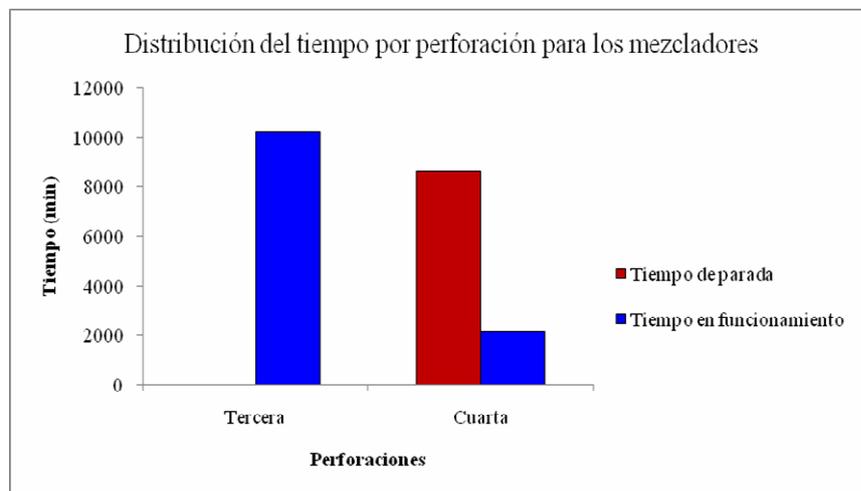
Tabla (5.25) Tiempo en alcanzar la capacidad, parada, funcionamiento y número de lotes por perforación. Escenario 3; tomando en cuenta las capacidades de los equipos.

	Perforaciones	
	Tercera	Cuarta
$t_{AC}$ (min)	17	84
$t_{PBM}$ (min)	0	67
$N_B$	600	129
$N_{BMI}$	300	65
$N_{BMII}$	300	64
$N_{BMIII}$	600	129
$t_{PT}$ (min)	0	8643
$t_{FT}$ (min)	10195	2154

Los tiempos de parada y funcionamiento mostrados en la tabla 5.25 son iguales para la etapa 1 y 2, sin embargo, debido a que existen dos mezcladores en la etapa 1 los tiempos para cada uno de ellos será la mitad. La tabla 5.26 presenta la distribución de tiempo en porcentaje para los mezcladores.

**Tabla (5.26) Porcentaje de tiempo en funcionamiento y parada de los equipos. Escenario 3.**

% de Tiempo	Parada	Funcionando
Mezclador 1 y 2 (etapa I)	36,85	52,65
Mezclador 3 (etapa II)	36,85	52,65



**Gráfica (5.8) Distribución del tiempo total por perforación para los mezcladores en el escenario3; tomando en cuenta las capacidades de los equipos.**



**Gráfica (5.9) Porcentaje de la distribución de tiempo total para los mezcladores en el escenario3; tomando en cuenta las capacidades de los equipos.**

Todos los escenarios anteriormente planteados pueden ser llevados a cabo, sin embargo el que mejor se adapta a la tecnología DEGRINS<sup>TM</sup> es el número 3 etapa I para lodos base agua y etapa I-II para lodos base aceite. La ventaja que presenta este escenario es que genera un menor sobredimensionamiento de los equipos implicando menores tiempos de parada por lote en las fases finales del procesamiento de ripio, reduciendo de esta manera la disposición de los equipos en las inmediaciones del taladro sin ser utilizados. Durante la primera perforación se tendrá que realizar ajustes en el tiempo de retención de la primera etapa y al llegar a la cuarta perforación se tomará en cuenta las capacidades de los equipos para establecer el tiempo de llenado de los mezcladores 1 y 2.

## 5.2 Estudio de las capacidades de los dosificadores y transportadores.

La dosificación será realizada siguiendo una proporción por peso de ripio a tratar dentro del tiempo establecido inicialmente para la retención en ambas etapas, el cual engloba el tiempo de dosificación y mezclado. Es por esta razón que se buscó por medio de la ecuación 5.24 y los valores de las tablas 4.1- 4.2 la formulación por unidad de masa, resultados que se presentan a continuación tanto para lodos base agua como lodos base aceite en cada una de las etapas.

$$FUM = \frac{m_{Aditivo}}{m_{Ripio}} \quad (5.24)$$

**Tabla (5.27) Formulación de aditivos por unidad de masa para lodos base agua.**

Etapa I	Formulación	Etapa II	Formulación
A	1	B	1
B	1	E	1
C	0,04		
D	0,08		
E	1		

**Tabla (5.28) Formulación de aditivos por unidad de masa para lodos base aceite.**

<b>Etapa I</b>	<b>Formulación</b>	<b>Etapa II</b>	<b>Formulación</b>
A	1	B	1
F	0,18	E	1
B	1		
G	0,18		
D	0,08		
E	1		

Posteriormente se determinó cuanto es el volumen y la masa total para cada uno de los aditivos por perforación en el escenario 3. Los resultados obtenidos se muestran en las tablas 5.29, 5.30 y 5.31; en donde aparecen resaltados los volúmenes de ripio natural más impregnación; las formulaciones por unidad de volumen (tablas 4.3 y 4.4) y de masa (tablas 5.27 y 5.28) fueron las empleadas para realizar dichos cálculos.

**Tabla (5.29) Total de volumen y masa para lodos base agua en la etapa I.**

<b>Componente</b>	<b>Volumen (m³)</b>		<b>Masa (Kg)</b>	
	<b>Primera</b>	<b>Segunda</b>	<b>Primera</b>	<b>Segunda</b>
A	<b>64,18</b>	<b>151,40</b>	89846,80	211965,11
B	89,85	211,97	89846,80	211965,11
C	3,07	7,25	3593,87	8478,60
D	4,89	11,54	7187,74	16957,21
E	29,95	70,66	89846,80	211965,11

**Tabla (5.30) Total de volumen y masa para lodos base aceite en la etapa I.**

<b>Componente</b>	<b>Volumen (m³)</b>		<b>Masa (Kg)</b>	
	<b>Tercera</b>	<b>Cuarta</b>	<b>Tercera</b>	<b>Cuarta</b>
A	<b>364,24</b>	<b>109,90</b>	509933,24	153860,10
F	655,63	197,82	91787,98	27694,82
B	509,93	153,86	509933,24	153860,10
G	65,56	19,78	91787,98	27694,82
D	27,75	8,37	40794,66	12308,81
E	169,98	51,29	509933,24	153860,10

**Tabla (5.31) Total de volumen y masa para lodos base aceite en la etapa II.**

Componente	Volumen (m <sup>3</sup> )		Masa (Kg)	
	Tercera	Cuarta	Tercera	Cuarta
B	509,93	153,86	509933,24	153860,10
E	169,98	51,29	509933,24	153860,10

Sumando los volúmenes y las masas de cada uno de los aditivos de las tablas anteriores se obtuvo el total para llevar cabo el tratamiento de rípios con la tecnología DEGRINS™ tomando en cuenta el escenario 3, la siguiente tabla muestra los resultados obtenidos.

**Tabla (5.32) Total de volumen y masa para los aditivos en el escenario 3.**

Totales	Volumen (m <sup>3</sup> )	Masa (Kg)
A	689,72	965605,26
B	1629,40	1629398,60
C	10,32	12072,48
D	52,55	77248,42
E	543,13	1629398,60
F	853,45	119482,80
G	85,34	119482,80

A fin obtener la cantidad de aditivo en masa y volumen durante cada lote para cada uno de las perforaciones fue empleada igualmente las formulaciones por unidad de masa y volumen, en donde la única variante es que ahora se tomó la cantidad de rípio que se tiene en cada lote para la propuesta como base para los cálculos.

**Tabla (5.33) Total de volumen y masa de aditivos por lotes para cada perforación.**

			Lodos Base Agua		Lodos Base Aceite		
			Perforaciones				
			Primera	Segunda	Tercera	Cuarta	
Volumen de ripio sin factor de esponjamiento (m <sup>3</sup> )			0,77	0,85	0,61	0,86	
Masa de ripio (Kg)			1078,16	1187,40	850,25	1197,02	
<b>Etapa I</b>							
B	Agua	(m <sup>3</sup> )	1,08	1,19	0,85	1,20	Líquido
		(Kg)	1078,16	1187,40	850,25	1197,02	
C	Surfactante	(m <sup>3</sup> )	0,04	0,04	-	-	Sólido
		(Kg)	43,13	47,50	-	-	
D	Acelerador de fraguado	(m <sup>3</sup> )	0,06	0,06	0,05	0,07	Líquido
		(Kg)	86,25	94,99	68,02	95,76	
E	Cemento	(m <sup>3</sup> )	0,36	0,40	0,28	0,40	Sólido
		(Kg)	1078,16	1187,40	850,25	1197,02	
F	Tamiz molecular	(m <sup>3</sup> )	-	-	1,09	1,54	Sólido
		(Kg)	-	-	153,04	215,46	
G	Silicatos	(m <sup>3</sup> )	-	-	0,11	0,15	Líquido
		(Kg)	-	-	153,04	215,46	
<b>Etapa II</b>							
B	Agua	(m <sup>3</sup> )	-	-	0,85	1,20	Líquido
		(Kg)	-	-	850,25	1197,02	
E	Cemento	(m <sup>3</sup> )	-	-	0,28	0,40	Sólido
		(Kg)	-	-	850,25	1197,02	

Debido a que existen aditivos tanto en estado sólido como en estado líquido la manera de llevar a cabo la dosificación difiere; los equipos mostrados en el punto 4.6 serán los empleados para el manejo de sólidos, las capacidades de los mismos se señalan en la tabla 5.34. Como el aditivo C solo es utilizado en los lodos base agua y el aditivo F en los lodos base aceite, se utilizará el mismo dosificador variando la velocidad de descarga del material con la finalidad de igualar los tiempos estipulados para la dosificación; en el caso de los líquidos se utilizaran tanques los cuales

realizaran la descarga por gravedad a través de válvulas, las capacidades se muestran en la tabla 5.35.

**Tabla (5.34) Características de los dosificadores seleccionados para el manejo de aditivos sólidos.**

Dosificador	Aditivo	Tiempo de dosificado	Capacidad de descarga (m <sup>3</sup> /h)	Capacidad de la tolva (m <sup>3</sup> )	Número de recargas	
					Etapas I	Etapas II
Gravimétrico por bache	C	5 min	1	20	1	-
	E		5	20	17	12
	F		20	20	43	-

**Tabla (5.35) Características de los dosificadores para líquidos seleccionados**

Dosificador	Aditivo	Tiempo de dosificado	Capacidad de descarga (m <sup>3</sup> /h)	Capacidad del tanque (m <sup>3</sup> )	Recargas
Tanque con descarga a gravedad	B	5 min	4.23	20	82
	D		0.25	10	6
	G		0.53	10	9

El siguiente paso fue hacer el estudio de los transportadores requeridos por el sistema, al igual que en los dosificadores el tiempo fue el parámetro que se tomo en cuenta para hacer la selección de la capacidad de transporte.

**Tabla (5.36) Capacidades de los tornillos transportadores**

	Tornillos Transportadores				
	Capacidad (m <sup>3</sup> /h)	Diámetro del tornillo (plg)	Velocidad (RPM)	Longitud (m)	
Transportador 1	11	9	155	5	Zaranda al mezclador 1 y 2
Transportador 2	123	14	140	3	Mezclador 1 y 2 al mezclador 3
Transportador 3	11	9	155	3,5	Continuación transportador 1. Operación solo en perforación 1 y 2
Transportador 4	123	14	140	5	Continuación transportador 2
Transportador 5	35	9	140	4	Mezclador 3 a la bomba
Transportador 6	123	14	155	3,5	Continuación del transportador 2 y 4. Operación solo en perforación 1 y 2

### 5.3 Equipos adicionales para llevar a cabo la tecnología DEGRINS™.

Además de los equipos principales necesarios para llevar a cabo el proceso de inyección somera existen otros equipos que sirven de complemento para el desarrollo en superficie de la tecnología DEGRINS™, los cuales permiten medir y registrar las diferentes variables que se presentan en el tratamiento del ripio y la inyección de los bulbos, esto con el fin de controlar cada etapa del proceso así como de hacer el proceso en forma automatizada. Entre los equipos encontramos manómetros, válvulas y sensores de peso. A continuación se presenta una tabla con los equipos a utilizar, rangos de operación y función dentro del desarrollo en superficie.

**Tabla (5.37) Equipos adicionales para llevar a cabo a tecnología DEGRINS™**

<b>Equipo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Rango de operación</b>	<b>Función</b>
Manómetro	1	0-6.89 MPa (0-1000 psi)	Medir la presión en la descarga de la bomba de pistón. Permite controlar la presión de operación de la bomba y detectar la formación de grietas (caída brusca de presión) con posible afloramiento a superficie de la mezcla.
Sensores de peso	4 por mezclador.	10 kg - 1 ton mezcladores 1, 2 y 3	Medir el peso del ripio descargado en los mezcladores y de esta forma hacer el cálculo de la dosificación de los aditivos.
Válvulas mariposa automática	7	2 plg	Controlar la descarga de los tanques de almacenamiento de agua y aditivos D y G
Válvulas de guillotina o compuerta automática	5	3 de 8 plg 1 de 9 plg 1 de 5 plg	Controlar la descarga del tornillo transportador 1 en varias secciones del mismo. Controlar la descarga al mezclador 1 y 2 de los dosificadores de aditivos C, E y F.

Después de hacer la selección de los equipos necesarios para llevar a cabo la tecnología de inyección somera, se procedió a hacer la disposición usando un programa de dibujo asistido por computadora, dando así como resultado el arreglo y distribución de los equipos en planta, correspondientes a la propuesta 4 escenario 3 el cual se presenta en el Anexo 1. Este diseño contempla todos los equipos principales

como son mezcladores, trasportadores, bomba y dosificadores, así como los equipos complementarios tales como válvulas, tuberías y sensores de peso.

## CONCLUSIONES

En este trabajo de investigación se realizó la selección y disposición de los equipos necesarios para poder llevar a cabo el tratamiento de rípios producto de perforaciones petroleras por medio de una nueva tecnología llamada inyección somera, la cual consta de dos etapas de procesamiento, la primera de ellas con el fin de ajustar el material contaminante al marco del decreto 2635 y la segunda realiza la disposición final del ripio en bulbos formados en los estratos arcillosos. El desarrollo de la propuesta implicó una investigación planificada y estudios de procesos de perforación así como también de pruebas hechas con anterioridad que permitiesen establecer parámetros de trabajo que resultaron de utilidad para el dimensionamiento de los equipos.

A continuación, se presentan las conclusiones de este trabajo de investigación:

- La operación y disposición de los equipos se hace en tiempo real con el taladro (durante el proceso de perforación).
- No requiere de seguimiento pos-perforación dado que el tratamiento ajusta las condiciones del desecho para que cumpla con las normas del decreto 2635.
- Ambientalmente resulta un proceso beneficioso ya que se realiza la estabilización y solidificación por lo cual no se presenta lixiviación.
- No se requiere transporte ni seguimiento del ripio lo que resulta en una tecnología más económica.
- Se usan equipos convencionales los cuales se pueden distribuir en distintos arreglos.
- Se estableció todos los equipos necesarios y rangos de operación para cumplir con cada una de las etapas del proceso de inyección somera en el tratamiento de rípios impregnados con lodos base agua y lodos base aceite.
- A partir de la recolección y análisis de la data técnica para un proceso de perforación petrolera, se establecieron las tasas de generación de ripio para diferentes profundidades así como el total de ripio generado tomando en

cuenta factores como el incremento por esponjamiento e impregnación del lodo.

- Se realizó un estudio exhaustivo para el cálculo de las dimensiones de los equipos a fin de evitar el sobredimensionamiento, buscando de esta manera el desarrollo de un sistema lo bastante compacto que permita ser transportado de un sitio de procesamiento a otro.
- Mediante el estudio de todas las variables implicadas para la propuesta en diversos escenarios, se determinó que la mejor aplicación para la tecnología DEGRINS es realizar la etapa I del procesamiento para los ripios cuando se utiliza lodos base agua y etapa I-II en los lodos base aceite, esto con el fin optimizar las dimensiones de los equipos.
- Se calculó el tiempo mínimo de llenado para el procesamiento de los ripios generados durante las primeras perforaciones (etapa I), cuando no sea posible realizar el tratamiento con todos los mezcladores se plantea un ajuste en el tiempo de retención o disminución del ritmo de penetración del taladro.
- Al llegar a la cuarta perforación resulta más favorable trabajar tomando en cuenta las capacidades de los equipos, razón por la cual se determinaron los tiempos de parada que surgen.
- Se realizó un plan de procedimiento para la propuesta de equipos planteada.
- A partir de las tasas de generación estimadas para cada perforación por ser constantes, el sistema está en capacidad de procesar los picos generados.

## RECOMENDACIONES

- El planteamiento se realizó para condiciones más extremas pozos profundos, en el caso de pozos someros se tendría que realizar un ajuste en las capacidades de los equipos.
- Realizar estudio detallado de materiales para cada uno de los equipos propuestos en la tecnología DEGRINS<sup>TM</sup>, tomando en cuenta factores como la abrasión y la corrosión.
- Diseñar el instrumental adecuado para la automatización del sistema.
- Elaboración de manuales y señalización de seguridad.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Avallone, E. y Baumeister III, T. (1995) MARKS Manual del ingeniero mecánico-tomo II, 3era ed. Mexico: MC GRAW – HILL. 778 p.
2. Cunningham, W. y Woodworth, B. (2001) Environmental Sciences, A Global Concern, 6<sup>th</sup> ed. Boston: McGraw Hill. 634 p.
3. Echezuría, H., Vásquez, P., De Aguiar, J. y Urich, J. (2002) Disposal of Fluids by displacement injection in shallow soils. A method for *in situ* dispose of non hazardous oil field wastes in a cost-effective and environmental safe way. US Patent 4691100B2.
4. Echezuria, H., De Aguiar, J., Rodriguez, A., Abreu, M., Vilas, J., Briceno, M., Figueras, J. y Delgado, A. (2002) Prueba de inyección somera en pozo LS5545 Lagunillas Edo. Zulia. Seguimiento y control ambiental 2001-2002. Informe técnico INT 9502.
5. De Aguiar, J., López, C., Vásquez, P., Abreu, E., Vilas, J., Briceño, M. y Figueras, J. (2000) Resultados de monitoreo durante año 2000, pruebas de inyección somera en Guanoco y Caripito. Informe técnico INT-8324.
6. De Aguiar, J., Lopez, C., Abreu, E., Vilas, J., Briceno, M., Figueras, J. y Delgado, A. (2002) Resultados de monitoreo desde el año 1999 hasta 2001 de las pruebas de inyección somera en Guanoco y Caripito. Informe técnico INT-9180.
7. De Aguiar, J., Echezuria, H., Vásquez, P., Lopez, C., Abreu, E., Vilas, J., Briceno, M., Figueras, J., Gonzalez, O. y Castejón, C. (2001) Resultados del seguimiento y control ambiental año 2001, de las pruebas de inyección somera realizadas en San Lorenzo (Estado Zulia). INT-8637.
8. Fraume, M. (2007) Diccionario ambiental [Libro en línea]. Colección textos universitarios: editorial Ecoe. Disponible: <http://books.google.co.ve/books?id=77jot7HN1Iic>. [Consulta: 2008, Marzo 21].
9. Guariguata, R. (1959) Manual de fluido de perforación, 3era ed. Maracaibo: Compañía Shell de Venezuela. 75 p.

10. Kabata-Pendias, A. y Pendias, H (1984). Trace elements in Soils and Plants, CRC Ress, Inc. Florida. 315 p.
11. Mata, A y Quevedo F. (2005) Diccionario didáctico de ecología [Libro en línea]. Editorial Universidad de Costa Rica. Disponible: <http://books.google.co.ve/books?id=a2kW3pjzc-wC&dq=biotratamiento> [consulta: 2008, Febrero 12].
12. McCray, A. y Cole, F. (1963) Tecnología de la perforación de pozos petroleros, 1 era ed. México: CECOSA. 574 p.
13. Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 5245 (extraordinario), Agosto 3, 1998. Normas para el control de la recuperación de materiales peligrosos y el manejo de los desechos peligrosos (decreto N° 2635). (1998, Julio 22).
14. Padrón, María. Instructivo para la Presentación de Trabajos Especiales de Grado de Ingeniería Mecánica. Caracas, U.C.V. Fac. de Ing. Esc de Ing. Mec. 1986.
15. Seoáñez, M., Bellas, E. y Seoáñez O. (2002) Tratado de la contaminación atmosférica: problemas, tratamiento y gestión [Libro en línea]. Colección ingeniería del medio ambiente: editorial Mundi-Prensa. Disponible: <http://books.google.co.ve/books?q=incineración>. [Consulta: 2007, Noviembre 5].
16. U.P.E.L. Universidad Pedagógica Experimental Libertador. Vicerrectorado de Investigación y Postgrado. Manual de Trabajos de Grado, de Especialización y Maestrías y Tesis Doctorales. (2001, 2003 y 2004) 2 da edición y 3ra edición. Caracas, FEDUPEL.
17. U.S. EPA. (2005) Toxicological Review of Zinc Compounds (CAS No. 7440-66-6) In Support of Summary Information on the Integrated Risk Information System (IRIS) Washington D.C.
18. Vásquez, P., Echezuría, H., De Aguiar, J., López, C., Miura, P., Mayor, J., Santeliz, C., González, V., Colombo, P. y Marcano, J. (1998) Inyección somera de rípidos de perforación no tóxicos en turberas y arcillas inundadas del Delta del Orinoco. Estudios a escala banco. Informe Técnico INT-5632.

19. Vázquez, P., Echezuría, H., De Aguiar, J., Abreu, E., Figueras, J., Vilas, J., Miura, P., Mayor, J., Santeliz, C. y Colombo, P. (1999) Inyección Somera Multipunto de ripios de perforación en arcillas y turberas del Delta del Orinoco. Informe Técnico INT-6575.

## APÉNDICES

### Apéndice 1. Rango de profundidades de pozos en Venezuela.

Campo	Ubicación	Pozo	Año	Profundidad (m)
Alpuf	Cuenca de Maracaibo, 70 km al SO de Maracaibo, 20 km al S del campo Boscán.	36-E1	1947	1066,59
		96-E2	1956	1509,45
		96-E3	1958	1535,98
		Alpuf - 2	1959	1269,41
		36-E4	1971	1034,56
		Alpuf 3X	1981	1528,97
		Alpuf 4X	1982	1571,97
		Alpuf 5X	1982	1567,70
		Alpuf 6X	1982	1573,80
		Alpuf 7X	1982	1588,14
		Alpuf 8X	1982	1259,96
Alpuf 9X	1983	1581,43		
Alpuf 10X	1983	1562,82		
Aricuaisá	Cuenca de Maracaibo, 35 km al N del campo El Rosario, 40 km al SO del campo Alturitas.	ARI-2X	1980	5377,15
		ARI-3X	1980	4712,25
Boqueron	Cuenca de Maturín, 15 km al O de Maturín.	BQN-1	1989	5566,25
Boscán	Cuenca de Maracaibo, 50 km al SO de Maracaibo.	7-F-1	1945	2927,39
Centro	Cuenca de Maracaibo, 80 a 100 km al S de Maracaibo, 15 km al S del área de producción más cercana en el campo Costanero de Bolívar, 30 km al O del área Ceuta.	Centro-2X	1957	3897,60
Costanero Bolívar	Cuenca de Maracaibo; se extiende por más de 100 km a lo largo de la ribera este del lago de Maracaibo; sus diferentes áreas productoras han sido descubiertas en el curso de varias décadas (Ambrosio, La Rosa, Cabimas, Punta Benítez, Tía Juana, Lagunillas, Pueblo Viejo, Bachaquero).	BA2015	1992	4270
Cumarebo	Cuenca de Falcón, 30 km al E de Coro.	Las Pailas-1X	1954	3040,85
El Furrial	Cuenca de Maturín, 17 km al O de Maturín.	El Furrial-1X	1986	4565
		SBC-10E	1993	5337,5
		PIC-10E	-	5642,5
García	Cuenca de Maracaibo, 5 km al SE del campo Los Claros, 5 km al NO del campo Urdaneta.	28F-1X	1979	5345,13
Jusepin	Cuenca de Maturín, 35 km al O de Maturín; es una estructura única, cuyas áreas de producción recibieron diferentes nombres de los distintos concesionarios (Jusepín, Santa Bárbara, Mulata, Muri, Travieso).	J-476	1996	5634,27

La Paz	Cuenca de Maracaibo, 40 km al O de Maracaibo.	P-B6	1953	2711,15
Lamar	Cuenca de Maracaibo, 12 km al N del campo Lamar, 15 km al S del área Lama del campo Costanero de Bolívar.	LPG-14-3	1958	3965,92
Las Palmas	Cuenca de Falcón, 130 km al SO de Coro, 40 km al NE del campo El Mene de Mauroa.	QMC-1X	1979	4514
Machiques	Cuenca de Maracaibo, 25 km al NO del campo Alturitas, 8 km al S de Machiques.	Machiques-1	1981	5507,39
		Machiques-2	1983	5608,95
		Machiques-3	-	5723,02
Mauroa	Cuenca de Falcón, 60 km al E de Maracaibo.	Hombre pintado	1940	671
Motatan	Cuenca de Maracaibo, 10 km al SE del campo Mene Grande.	MOT-2	1952	2881,03
Pedernales	Cuenca de Maturín, 100 km al NE de Maturín.	-	1960	2022,15
Piritál-Orocual-Manresa	Piritál: Cuenca de Maturín, 40 km al O del campo Jusepín. - Orocual: Cuenca de Maturín, 8 km al NE del campo Jusepín, 20 km al SO del campo Quiriquire. - Manresa: Cuenca de Maturín, 25 km al N de Maturín.	Piritál	1945	762,5
		Manresa	1954	805,2
		ORC-15	1985-96	4117,5
		ORS-52		3965
		PIC-10E		5642,5
		Santa Barbara-Piritál		5185
		Chaguaramal -2	-	5642,5
Quiriquire	Cuenca de Maturín, 25 km al N de Maturín.	QQ-674	1983	3660
San José	Cuenca de Maracaibo, 110 km al SO de Maracaibo, 35 km al N del campo Alturitas.	SJ-1	1979	4979,74
Sibucara	Cuenca de Maracaibo, 5 km al SO de Maracaibo; parte del área probada está dentro de los límites urbanos.	S-5	1949	4102,56
Tiguaje	Cuenca de Falcón, 130 km al SO de Coro.	TIG-42X	1983	1376,47
Tucupita	Cuenca de Maturín, 80 km al E del campo Temblador.	Texas	1965	1710
Urdaneta	Cuenca de Maracaibo, a lo largo de la ribera occidental del lago, 60 km al S de Maracaibo.	UD-1	-	3500,49
		A-139	1984	5050,80
		28K-2Y	-	4529,25
		SOL-6	-	5587,91

## Apéndice 2. Perfiles geotécnicos en campos petroleros.

### Columna Estratigráfica - El Furrial

Espesor (m)	Descripción
274	Arcillas con capas de arenisca y carbón
1037	Limolitas y areniscas con arcillas y capas de carbón
1007	Lutitas intercaladas con areniscas de grano fino y limolitas
1830	Areniscas con lutitas, limolitas y carbón
	Lutitas con limolitas y arcillas
	Lutitas con lentes de arenisca
473	Areniscas con lutitas y lignitos
21	Lutitas y limolitas
165	Areniscas con lutitas
192	Limolitas y areniscas
67	Lutitas, limolitas y areniscas

### Columna Estratigráfica - El Corozo- San Vicente- Boqueron

Espesor (m)	Descripción
610	Arcillas, conglomerados, areniscas cuarzosas y limolitas
746	Arcillas, lutitas, limolitas y areniscas de grano fino
488	Lutitas con limolitas y areniscas cuarzosas
2410	Lutitas duras, limos
494	Areniscas con capas delgadas de lutitas, limolitas
15	Lutitas y limolitas

### Apéndice 3. Tipos de mezcladores.

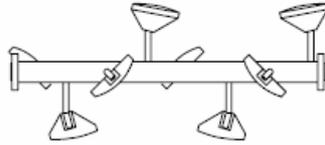
De cinta (Ribbon Blender)	
	
<i>Principio de funcionamiento</i>	<p>Consiste en un tambor horizontal con un eje axial de soporte y un agitador de cintas, o en algunos casos dos ejes paralelos. La rotación alrededor del eje de una sola cinta produce un movimiento radial alrededor de la parte interna del mezclador, al mismo tiempo otra cinta curvada produce un movimiento axial alrededor de la parte interna del mezclador. En otras palabras, la cinta externa hace que la mezcla se mueva a lo largo del tambor y la cinta opuesta interna hace que al mismo tiempo la mezcla se mueva en dirección opuesta. Estos movimientos evitan que la mezcla se acumule en uno de los extremos.</p>
<i>Características</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajo consumo de energía.</li> <li>• Se rompen los aglomerados debido al mecanismo en que se lleva a cabo el mezclado.</li> <li>• La mezcla de la masa se hace de manera multidireccional.</li> <li>• Puede combinar la mezcla con calefacción o refrigeración.</li> <li>• Puede procesar polvos y gránulos de diversos tamaños.</li> <li>• Dependiendo a la aplicación se puede colocar varias válvulas a fin de realizar diversas descargas.</li> <li>• Ocupa menos espacio para grandes volúmenes de mezcla.</li> <li>• El mezclador de cintas logra la mezcla completa en tiempos muy cortos.</li> <li>• Se puede disponer de un segundo eje para procesamientos de grandes volúmenes.</li> <li>• La alimentación se realiza por un puerto de carga ubicado en la parte superior.</li> <li>• Preferencia para procesar gránulos a grandes cantidades.</li> </ul>
<i>Limitaciones</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Posee dificultades para su limpieza.</li> <li>• Debido al roce de las cintas con la carcasa produce rompimientos de partículas, que dependiendo a la aplicación puede resultar desfavorable.</li> <li>• Con el tiempo presenta problemas de desgaste por abrasión.</li> <li>• Son de velocidades bajas.</li> <li>• Se recomienda ponerlo en funcionamiento cuando este cargado con 40 % de su capacidad nominal.</li> </ul>
<i>Aplicaciones</i>	<p>Alimentos para animales, lodos, detergentes, pigmentos, plásticos, polvos, gránulos, pastas, fertilizantes, productos alimenticios, productos farmacéuticos, industria química, cemento, arena, hormigón y grava.</p>

### Tornillo vertical



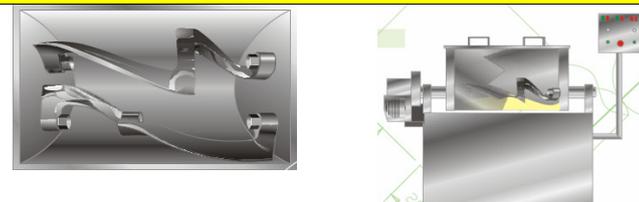
<p><i>Principio de funcionamiento</i></p>	<p>Consiste de una carcasa cónica con un tornillo sin fin interno que transporta el material hacia arriba y luego el movimiento de cascada y gravitacional lo regresa hasta el fondo. El tornillo puede estar en uno de los lados interiores rotando y orbitando simultáneamente dentro del cono.</p>
<p><i>Características</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es rápido.</li> <li>• Consume poca energía.</li> <li>• No produce segregación.</li> <li>• Puede llevar dos tornillos.</li> <li>• Puede realizar operaciones de secado.</li> <li>• Se pueden instalar accesorios que permiten romper grumos.</li> </ul>
<p><i>Limitaciones</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Difícil limpieza.</li> <li>• Este mezclador puede producir algo de abrasión por la caída libre a la que se somete los gránulos y por el choque de éstos contra las paredes del equipo.</li> </ul>
<p><i>Aplicaciones</i></p>	<p>Productos frágiles, pastas viscosas o pegajosas, polvos con diferentes densidades. Industria alimenticia, farmacéutica, cosmética.</p>

## De paletas

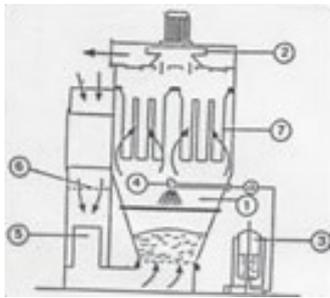


<i>Principio de funcionamiento</i>	<p>Consiste en esencia en una o varias paletas horizontales, verticales o inclinadas unidas a un eje horizontal, vertical o inclinado que gira axialmente dentro del recipiente (aunque no siempre está centrado con éste). De esta manera el material que se mezcla es empujado o arrastrado alrededor del recipiente siguiendo una trayectoria circular.</p>
<i>Características</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mezcla suavemente una amplia variedad de materiales secos o pegajosos, en un flujo continuo sin obstrucción.</li> <li>• Posee tolerancias estrechas entre las paletas del rotor y las paredes del contenedor para reducir la acumulación de material, aumentando por lo tanto la productividad y reduciendo el mantenimiento.</li> <li>• En algunas aplicaciones se inyecta líquido a través de boquillas situadas cerca de la entrada de la alimentación para promover la homogeneización de la mezcla.</li> <li>• Los rotores pueden ser calentados para promover o para evitar reacciones de adherencia.</li> <li>• En las mezclas con reacción exotérmica, los rotores pueden ser refrigerados para eliminar exceso de calor.</li> <li>• La velocidad y ángulo de las paletas puede ajustarse por separado para variar la cantidad de energía que se da a los materiales de transporte, independientemente de la velocidad.</li> <li>• El movimiento ocurre en tres dimensiones.</li> <li>• Produce turbulencias.</li> </ul>
<i>Limitaciones</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se emplea en procesos donde se requiere un mezclado fuerte de alta cizalla por periodos de tiempo superiores a la media hora.</li> <li>• No apropiado para materiales frágiles.</li> </ul>
<i>Aplicaciones</i>	<p>Es utilizado en la hidratación de fosfatos, hidratación de la ceniza de sosa, mezcla de suplementos alimenticios, fertilizantes, plaguicidas, alúmina, panadería, recubrimiento de carbonato de calcio, hipoclorito de calcio, celulosa, yeso, proteínas, pigmentos, pvc, caucho, lodos, almidón, azúcar, talco, tabaco, zeolita, minerales, cerámicas, productos químicos, productos farmacéuticos y hormigón.</p>

Palas planetario	
	
<i>Principio de funcionamiento</i>	Una paleta gira alrededor de un eje situado excéntricamente con respecto al caldero o recipiente, y al mismo tiempo el eje gira alrededor de una línea central del caldero. Este movimiento planetario hace que la acción mezcladora llegue por turno a todas las partes del caldero, produciéndose así una mezcla local completa, y arrastrando las partículas a lo largo de trayectorias cicloidales que se solapan unas con otras y la entremezclan.
<i>Características</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Puede mezclar polvos semisólidos y líquidos.</li> <li>• Son muy eficientes.</li> <li>• Se puede regular la velocidad para mezclar las fases sólidas con menor cantidad de polvo y se aumenta la velocidad para operaciones de amasado durante las operaciones húmedas.</li> </ul>
<i>Limitaciones</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Son lentos.</li> <li>• Son sensibles al calor.</li> </ul>
<i>Aplicaciones</i>	Adhesivos, tintas de impresión, pastas dentales, industria alimenticia para fabricación de mayonesas.

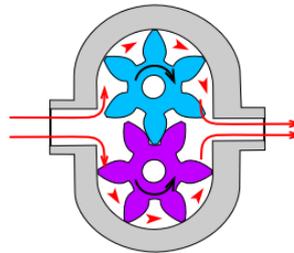
Sigma	
	
<i>Principio de funcionamiento</i>	Posee unas hélices en forma de Z que giran rasas al fondo del tanque concéntrico, circulando el producto constantemente para así promover su mezcla en todas las direcciones.
<i>Características</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rompe fácilmente los aglomerados.</li> <li>• Útil en el mezclado de sólido - líquido.</li> <li>• Útil para materiales pastosos.</li> <li>• Estos mezcladores se utilizan para incorporar sólidos en líquidos.</li> </ul>
<i>Limitaciones</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Liberan calor y consumen mucha energía.</li> <li>• Difícil limpieza.</li> <li>• Muy lentos.</li> <li>• Propensos a la contaminación.</li> </ul>

<i>Aplicaciones</i>	<p>Son especialmente contruidos para el procesamiento de sustancias pastosas entre sí, o sustancias pastosas con sólidos secos tipo polvo. En la industria alimenticia para la preparación de chicles, masas pasteleras, carnes procesadas. Hules y plásticos para preparación de empaques, sellos, láminas de poliéster, resinas. Farmacéutica como jabones cosméticos, pastas dentales. Adhesivos como cementos, adhesivos en base agua. Industria química, cerámica, metalurgia, tintas y pigmentos.</p>
---------------------	---

<b>Lecho fluidizado</b>	
	
<i>Principio de funcionamiento</i>	<p>Se basa en la acción de un chorro de aire a altas velocidades que expulsan el material a través de una cámara donde todas las partículas se entremezclan en un flujo turbulento.</p>
<i>Características</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Existen algunos modelos que pueden realizar las funciones de secado y granulación del material.</li> </ul>
<i>Limitaciones</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los materiales deben poseer densidades similares.</li> <li>• Entre las condiciones del material para cargar el equipo está que los polvos no deben ser cohesivos. Si los polvos son cohesivos se formarán aglomerados.</li> </ul>

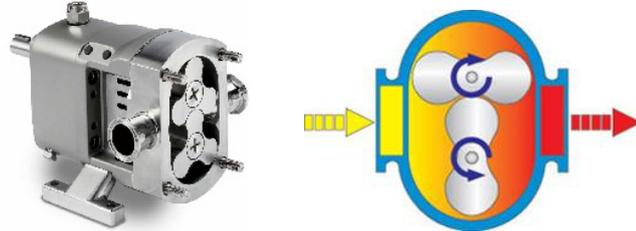
**Apéndice 4. Bombas de desplazamiento positivo.**

**Bomba de Engranajes**



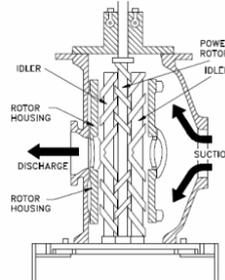
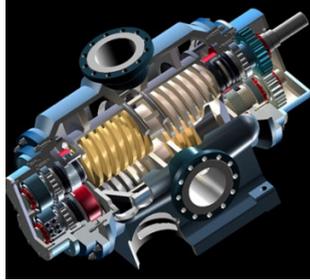
<p><i>Principio de funcionamiento</i></p>	<p>La bomba de engranajes tiene muchas variaciones, en la figura se muestra un esquema sencillo y la más básica que existe (engranajes externos), en donde dos engranajes acoplados giran en sentidos opuestos dentro de una misma carcasa, tolerancias muy pequeñas entre los dientes y la carcasa evita que existan fugas. El fluido queda atrapado en la succión entre la cavidad generada por la carcasa y la separación entre dos dientes, siendo obligado a seguir el sentido de rotación de los engranajes hasta el momento de la descarga.</p>
<p><i>Características</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Son muy confiables y de fácil funcionamiento.</li> <li>• Pueden bombear en dirección inversa si se invierte el sentido de rotación de los engranajes.</li> <li>• En muchos tipos los engranes del rotor son automáticos y no necesitan un engrane piloto.</li> <li>• Generalmente no necesitan de válvulas en la carga y descarga.</li> <li>• Alcanzan altas presiones alrededor de los 3500 psi.</li> <li>• Pueden trabajar con fluidos de viscosidades de 50000 cp.</li> <li>• Operan a caudal constante.</li> </ul>
<p><i>Limitaciones</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presentan problemas para el manejo de altos contenidos de sólidos.</li> <li>• El tamaño de los sólidos está muy limitado.</li> <li>• La utilidad de los engranajes de dientes rectos está limitada porque atrapan líquido en el lado de la descarga en el punto donde se acoplan entre si los engranes, con lo cual resulta una operación ruidosa y de baja eficiencia mecánica, en particular a altas velocidades de rotación.</li> <li>• La construcción helicoidal y o de engrane bihelicoidal elimina en gran parte el efecto de atrapamiento, pero ocurren pérdidas por fugas entre los dientes en el punto de acoplamiento de ellos, salvo que estén cortados sin ninguna holgura en la raíz.</li> </ul>
<p><i>Aplicaciones</i></p>	<p>Jarabes, glicerina, gasoil, hidrocarburos, polímeros, polielectrolitos, grasas animales y vegetales, fuel-oil, asfalto líquido, resinas sintéticas, plásticos líquidos, betún, melazas, chocolate, benzol, jabones. (Fluidos con grandes viscosidades)</p>

### Bomba de Lóbulos

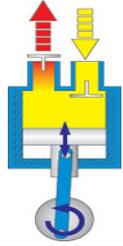


<i>Principio de funcionamiento</i>	<p>Su principio de funcionamiento es similar a las bombas de engranajes externos, con la diferencia de que los lóbulos no entran en contacto, siendo accionados independientemente desde la caja de cambios. Al girar los lóbulos el fluido queda atrapado en una cámara que se genera entre los lóbulos y la carcasa, siendo este empujado hasta la descarga.</p>
<i>Características</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ofrecen magnificas cualidades sanitarias.</li> <li>• Son de alta eficiencia.</li> <li>• Muy resistentes a la corrosión.</li> <li>• Se caracterizan por no ser de gran tamaño.</li> <li>• Puede funcionar en ambos sentidos.</li> <li>• El flujo es constante si se mantiene la velocidad, no dependiendo de la presión.</li> <li>• No generan pulsaciones en la descarga.</li> </ul>
<i>Limitaciones</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Son necesarios engranes de sincronización.</li> <li>• Las fugas son excesivas a presiones altas.</li> <li>• El tamaño de los sólidos que puede bombear está limitado, generalmente tienen que ser de pequeñas dimensiones (alrededor de 25 mm).</li> <li>• No son recomendables con fluidos que presenten densidades muy bajas.</li> <li>• No aceptan descargas cerradas (<math>Q = 0</math>), es necesario protección mediante un "bypass" de lo contrario la bomba se deteriora.</li> <li>• Generalmente trabajan con contenidos de sólidos menores a 30 % de la mezcla.</li> </ul>
<i>Aplicaciones</i>	<p>Se aplica en la industria de la pulpa y el papel, química, alimenticia, bebidas, farmacéutica, polímeros, cauchos, pinturas, cemento blanco, lechadas de cal. En la industria alimenticia poseen un gran campo de aplicación ya que pueden bombear sólidos sin dañar el producto.</p>

## Bomba de Tornillo

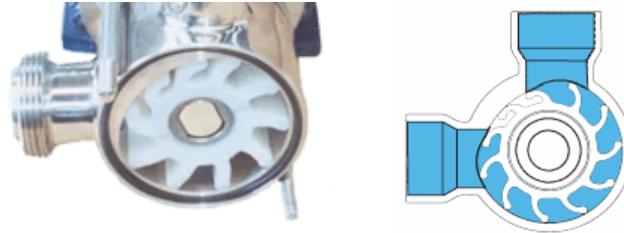


<i>Principio de funcionamiento</i>	<p>Este tipo de bombas pueden construirse con un solo tornillo en dicho caso generalmente llamadas de cavidad progresiva o de varios tornillos en donde uno de ellos actúa como impulsor helicoidal y los otros son tornillos locos contenidos en la misma carcasa. El fluido es desplazado de manera axial por las cavidades que se forman entre los hilos de los tornillos y la carcasa dependiendo sea el caso.</p>
<i>Características</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se obtiene un flujo suave y sin pulsaciones, el cual es ideal para dosificaciones.</li> <li>• El caudal es proporcional a la velocidad de rotación.</li> <li>• Excelentes capacidades de auto cebado hasta 8,5 m.</li> <li>• Bajo NPSH requerido.</li> <li>• Son de construcción sencilla y robusta.</li> <li>• Se pueden operar a muy altas velocidades.</li> <li>• Pueden ser fabricadas con hélices de derecha e izquierda a fin de eliminar el empuje.</li> <li>• No se necesitan cojinetes de árbol ni engranes de sincronización.</li> <li>• Tienen alta eficiencia mecánica.</li> <li>• Pueden alcanzar altas presiones en el orden de los 2100 psi.</li> <li>• Pueden trabajar con temperaturas de 176 °C.</li> </ul>
<i>Limitaciones</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El desgaste de los elementos rotatorios puede ser rápido con líquidos de bajo valor lubricante.</li> <li>• No son recomendables para manejo de materiales abrasivos.</li> <li>• El tamaño de los sólidos está limitado y dependen de la cavidad que pueda formar los hilos del tornillo(s).</li> </ul>
<i>Aplicaciones</i>	<p>Industrias alimenticias, farmacéuticas, bebidas, agroindustria, tratamiento de aguas, lodos residuales, petroquímica, minería, construcción, cerámica, química, pinturas, pulpa y papel.</p>

Bomba de Pistón	
	
<i>Principio de funcionamiento</i>	<p>Su funcionamiento se basa en un embolo que se mueve de manera alternativa dentro de un cilindro, las válvulas permiten la carga y descarga del fluido. Dependiendo del número de pistones se tiene la clasificación de simple, dúplex, triplex, y así sucesivamente. Pueden ser de doble efecto, es decir ambas caras del embolo realizan trabajo.</p>
<i>Características</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A una velocidad constante entregan esencialmente la misma capacidad a cualquier presión dentro de la capacidad del impulsor y la resistencia mecánica de la bomba.</li> <li>• La alta eficiencia inherente de estas bombas es casi independiente de la presión y la capacidad, y solo es un poco más baja en una bomba pequeña que en una grande.</li> <li>• Su alta eficiencia supera con creces su alto costo inicial.</li> <li>• Pueden trabajar como dispositivos dosificadores ya que entregan una misma capacidad a presión variable.</li> <li>• Muchas de estas bombas se disponen para poder cambiar con facilidad el tamaño del pistón, con lo que se tiene una bomba adaptable para un determinado rango de presiones, en que la capacidad varía inversamente con la presión a una salida constante de potencia hidráulica.</li> <li>• Pueden manejar altos contenidos de sólidos independientemente de que los mismos sean abrasivos.</li> <li>• Operación y mantenimiento simple, se pueden cambiar pistones, camisas, válvulas en el mismo sitio de trabajo.</li> <li>• Pueden manejar amplios rangos de caudal y presión.</li> <li>• La distancia libre entre las válvulas hace que se puedan manejar sólidos de gran tamaño sin dañar la bomba.</li> <li>• Son autocebantes.</li> </ul>
<i>Limitaciones</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A fin de compensar las irregularidades e inducir un flujo uniforme en las líneas de succión y de descarga, con mucha frecuencia es necesario emplear amortiguadores de pulsaciones.</li> <li>• Si se desea una capacidad constante hay que regular bien la velocidad.</li> <li>• Son de grandes dimensiones.</li> <li>• El costo inicial es elevado.</li> </ul>
<i>Aplicaciones</i>	<p>Alimentos, bebidas, todo tipo de aplicaciones sanitarias, manejo de productos químicos agresivos y peligrosos, slurrís y pastas, plantas asfálticas, productos bituminosos, combustibles, aceites lubricantes, papel y pulpa, bombeo de lodo, concreto.</p>

Bomba de Diafragma	
	
<i>Principio de funcionamiento</i>	<p>Es un tipo de bomba de desplazamiento positivo (generalmente alternativo) en la que el aumento de presión se realiza por el empuje de unas paredes elásticas (membranas) que varían el volumen de la cámara aumentándolo o disminuyéndolo alternativamente. Unas válvulas de retención controlan que el movimiento del fluido se realice de la zona de menor presión a la de mayor presión. La acción de estas bombas puede ser eléctrica o neumática. Existen bombas neumáticas y eléctricas de doble diafragma, las cuales funcionan bajo el mismo principio que las anteriores, pero tienen dos cámaras con un diafragma cada una, de forma que cuando una membrana disminuye el volumen de su cámara respectiva, la otra membrana aumenta el volumen de la otra cámara y viceversa.</p>
<i>Características</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poseen ciertas ventajas frente a otros tipos de bombas, ya que no poseen cierres mecánicos ni empaquetaduras que son las principales causas de rotura de los equipos de bombeo en condiciones severas.</li> <li>• Estas bombas son autocebantes, es decir, no es necesario llenar la columna de aspiración de líquido para que funcionen, por lo que pueden ser utilizadas para sacar líquido de depósitos aspirando aunque la tubería de aspiración esté llena de aire inicialmente.</li> <li>• Su mantenimiento es sencillo, rápido y con materiales fáciles de sustituir.</li> <li>• Se pueden utilizar diversas membranas a fin de poder trabajar a diversas temperaturas.</li> <li>• Son muy resistentes a la corrosión.</li> <li>• Pueden manejar altas presiones de hasta 12000 psi.</li> <li>• Maneja sólidos de hasta 70 mm de diámetro.</li> <li>• Puede manejar fluidos con contenidos de sólidos de hasta 70 %.</li> </ul>
<i>Limitaciones</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A fin de compensar las irregularidades e inducir un flujo uniforme en las líneas de succión y de descarga, con mucha frecuencia es necesario emplear amortiguadores de pulsaciones.</li> <li>• El costo inicial es elevado.</li> <li>• Son de grandes dimensiones.</li> </ul>
<i>Aplicaciones</i>	<p>Estos equipos son muy utilizados en la industria para el movimiento de prácticamente cualquier líquido y en multitud de industrias como ácidos, derivados del petróleo, disolventes, pinturas, barnices, tintas, fangos de depuradora, reactivos, concentrados de frutas, chocolate, plantas de proceso, industrias químicas, industrias alimenticias, ópticas, industrias galvánicas, bebidas, aguas residuales, construcción, buques, industrias cerámicas, cartoneras, fábricas de papel o circuitos impresos.</p>

### Bomba de Impulsor Flexible



<i>Principio de funcionamiento</i>	<p>Debido a la sección transversal interior excéntrica del cuerpo de la bomba, se crea un vacío parcial a medida que se incrementa el volumen entre los alabes flexibles del rodete en la boca de entrada. La fuerza de aspiración resultante hace que entre el líquido en la bomba. El rodete en su movimiento de giro transporta el líquido desde la entrada a la boca de salida. Durante este recorrido del ciclo, el volumen entre los alabes permanece prácticamente constante. La separación entre los alabes permite el paso de sólidos relativamente grandes a través de la bomba sin causar daños al líquido. El líquido es descargado en un flujo continuo y uniforme al doblarse los alabes, decreciendo así el volumen entre ellos, a medida que entran en contacto con la parte plana de las paredes interiores excéntricas del cuerpo de la bomba.</p>
<i>Características</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El número de rodillos o paletas pueden variar para crear cámaras más grandes.</li> <li>• El material del impulsor se puede especificar para prolongar la vida útil del mismo.</li> <li>• El flujo es proporcional a la velocidad del impulsor.</li> <li>• Puede trabajar en ambos sentidos si se cambia la rotación del impulsor.</li> <li>• Son autocebantes.</li> <li>• Pueden funcionar en seco durante pocos segundos sin dañar el rodete.</li> </ul>
<i>Limitaciones</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las acciones de sellamiento y de bombeo dependen de la elasticidad de las paletas.</li> <li>• El rendimiento está directamente relacionado con el material y el diseño del impulsor de material flexible.</li> <li>• La descarga no es continua.</li> <li>• Posee bajas capacidades de succión.</li> <li>• No trabaja con materiales abrasivos.</li> <li>• Presenta problemas con altos contenidos de sólidos.</li> <li>• Hay que tener cuidado con el material con que va a trabajar la bomba y los sellos que se van a utilizar.</li> <li>• El flujo y la presión disminuyen en función al tiempo de servicio.</li> <li>• Se recomiendan velocidades bajas.</li> </ul>
<i>Aplicaciones</i>	<p>Industria farmacéutica, química, bebidas, alimenticia.</p>

### Bomba Peristáltica

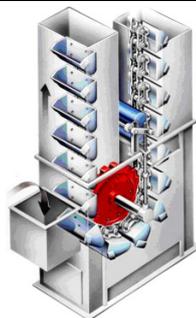


<i>Principio de funcionamiento</i>	<p>El fluido es contenido dentro de un tubo flexible empotrado dentro de una cubierta circular de la bomba (aunque se han hecho bombas peristálticas lineales). Un rotor con un número de 'rodillos', 'zapatos' o 'limpiadores' unidos a la circunferencia externa comprimen el tubo flexible. Mientras que el rotor da vuelta, la parte del tubo bajo compresión se cierra forzando, de esta manera, el fluido a ser bombeado para moverse a través del tubo. Adicionalmente, mientras el tubo se vuelve a abrir a su estado natural después del paso de la leva ('restitución'), el flujo del fluido es inducido a la bomba. Este proceso es llamado peristalsis y es usado en muchos sistemas biológicos como el aparato digestivo.</p>
<i>Características</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Debido a que la única parte de la bomba en contacto con el fluido que es bombeado es el interior del tubo, las superficies internas de la bomba son fáciles de esterilizar y limpiar.</li> <li>• Puesto que no hay partes móviles en contacto con el líquido, las bombas peristálticas son baratas de fabricar.</li> <li>• Su carencia de válvulas, de sellos y de arandelas, y el uso de mangueras o tubos, hace que tengan un mantenimiento relativamente de bajo costo comparado a otros tipos de bombas.</li> <li>• Puede bombear fluidos limpios o estériles ya que la bomba no puede contaminar el líquido.</li> <li>• Puede manejar productos químicos agresivos.</li> <li>• Manejo de altos contenidos de sólidos hasta un 80 %.</li> <li>• Pueden funcionar en seco y en reversa para desbloquear la línea de succión.</li> </ul>
<i>Limitaciones</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las presiones alcanzadas generalmente no superan los 240 psi.</li> <li>• Las acciones de sellamiento y de bombeo dependen de la elasticidad de los elementos flexibles (tubo).</li> <li>• El caudal de la bomba depende del diámetro del tubo y de la velocidad del rotor.</li> <li>• Requiere una fuente de alimentación.</li> <li>• Algunas bombas no ofrecen velocidades variables.</li> <li>• Auto aspirantes hasta 9 m.</li> </ul>
<i>Aplicaciones</i>	<p>Industria minera, química, textil, cerámica, cosmética, reciclaje, alimenticia, pesquera, tratamiento de desechos industriales y cloacales, pintura, celulosa y papel, bebidas.</p>

## Apéndice 5. Tipos de Transportadores

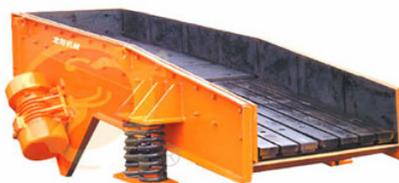
Tornillo Transportador	
	
<i>Principio de funcionamiento</i>	<p>El material es colocado en el cuerpo del transportador a través de las aberturas de entrada, trasladándose a lo largo en un suave movimiento en espiral, producto de la rotación del tornillo. Las entradas, salidas, compuertas, transmisiones y otros accesorios controlan el ritmo de transporte del material y el lugar de descarga.</p>
<i>Características</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es posible el transporte sin contacto con el ambiente (uso de tapas).</li> <li>• Bajo costo inicial.</li> <li>• Apoyos estructurales que permiten su fácil ubicación.</li> <li>• Fácil de entender su funcionamiento.</li> <li>• Se pueden hacer transformaciones durante la transmisión como: refrigeración, mezclado, calefacción.</li> <li>• Pueden usarse como alimentadores.</li> <li>• Se pueden hacer descargas intermedias de manera sencilla.</li> <li>• Se pueden fabricar con materiales resistentes a la abrasión.</li> <li>• Pueden trabajar con altas temperaturas.</li> <li>• Se pueden hacer transportes con diversas inclinaciones, llegando hasta 90°.</li> </ul>
<i>Limitaciones</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El tamaño de sólidos que se pueden transportar está limitado.</li> <li>• Requiere un alto mantenimiento.</li> <li>• Existen pérdidas de eficiencia si se trabaja con inclinaciones.</li> </ul>
<i>Tamaños</i>	<p>Pueden ir desde 1 m hasta 9 m de largo, sin embargo se pueden mandar a fabricar con las medidas necesarias. Pudiendo llegar a transportar hasta capacidades de 900 m<sup>3</sup>/h.</p>
<i>Aplicaciones</i>	<p>Es adecuado para transporte de materiales granulares, en polvo, aceites, bien sea horizontal, inclinado o vertical. Entre las industrias de aplicación se encuentran: alimenticias, metalúrgica, minera, plásticos, química, materiales de construcción, farmacéutica.</p>

### Elevador de Cangilones



<i>Principio de funcionamiento</i>	Consta de una gran cinta o correa sinfín la cual lleva consigo una serie de cangilones generalmente distribuidos a lo largo de la cinta de manera uniforme, los cuales arrastran cierta cantidad de producto y lo transportan al lugar de destino, para finalmente ser descargado por gravedad.
<i>Características</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Puede transportar a grandes alturas con distancias horizontales muy cortas.</li> <li>• La potencia consumida es baja.</li> <li>• Posee un auto apoyo.</li> <li>• Muy resistente a la corrosión y a la abrasión.</li> <li>• Puede trabajar a altas temperaturas.</li> </ul>
<i>Limitaciones</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limitado el tamaño de sólidos que se pueden transportar.</li> <li>• El volumen transportado por cangilón está limitado.</li> <li>• El transporte se hace de manera intermitente.</li> <li>• Los materiales a transportar deben ser fáciles de fluir.</li> <li>• La limpieza y el mantenimiento son elevados.</li> </ul>
<i>Tamaños</i>	Pueden alcanzar alturas de hasta 40m y la capacidad de transporte depende del tamaño de los cangilones, pudiendo llegar a rangos que va de 85 m <sup>3</sup> /h hasta 270 m <sup>3</sup> /h.
<i>Aplicaciones</i>	Posee gran rango de aplicación para el transporte de materiales sólidos, polvos y granulares. Entre los materiales de aplicación se encuentran: jabones, detergentes, azúcar, catalizadores, cerámica, sal, productos químicos, rocas, minerales, fertilizantes, fibra de vidrio, talco, entre otros.

### Alimentador Vibratorio



<i>Principio de funcionamiento</i>	Utilizan la inercia del producto conducido por un movimiento de avance, relativamente, lento de la superficie del transportador para mantener el flujo del producto durante un movimiento rápido hacia atrás de la superficie del transportador. Este movimiento se repite a gran frecuencia y se puede producir electromagnéticamente o mecánicamente.
<i>Características</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>• La operación del mismo es muy confiable.</li><li>• Bajo consumo de energía.</li><li>• Baja contaminación acústica.</li><li>• No poseen piezas giratorias.</li></ul>
<i>Limitaciones</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Limitado en el tamaño de sólidos que se puede transportar.</li><li>• No es recomendado para materiales húmedos y pegajosos.</li><li>• El mantenimiento es más complejo.</li><li>• No permite grandes inclinaciones.</li></ul>
<i>Tamaños</i>	Pueden alcanzar tamaños aproximados de 2 m de ancho x 4 m de largo, con inclinaciones máximas de hasta 10 °.
<i>Aplicaciones</i>	Se usan generalmente como mecanismos de alimentación donde se requiere gran precisión. El transporte suave los caracteriza como útiles para productos rompibles, como por ejemplo patatas fritas, sirven además para productos abrasivos y calientes. Están esencialmente exentos de polvos. En la industria alimenticia son muy populares.

### Transportador de Arrastre



<i>Principio de funcionamiento</i>	Consta de una cinta sinfín la cual posee adherida una serie de paletas formando de esta manera cavidades una al lado de otra, la carga y descarga generalmente son por gravedad.
<i>Características</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pueden hacer transportes con curvas horizontales, verticales e inclinaciones.</li> <li>• Permite hacer descargas en puntos intermedios.</li> <li>• Se pueden colocar bypass.</li> <li>• Son ligeros.</li> <li>• Bajo costo.</li> <li>• Tamaños compactos.</li> <li>• Bajo consumo de energía.</li> </ul>
<i>Limitaciones</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poseen límites de capacidad y velocidad.</li> <li>• Alto mantenimiento.</li> <li>• Poseen limitaciones para trabajar con materiales abrasivos y con altas temperaturas.</li> </ul>
<i>Tamaños</i>	La longitud de las paletas puede ir de 15 cm hasta 60 cm de longitud, con distancias de hasta 45 m y capacidades de hasta 735 m <sup>3</sup> /h.
<i>Aplicaciones</i>	Se usa en aplicaciones donde no se desea daño por tamborileo y agitación, además de poder transportar varios productos utilizando el mismo transportador. Entregan el material en forma rápida, eficiente y con suavidad. En industrias alimenticias, farmacéuticas son muy usadas.

### Transportador de Rodillos



<i>Principio de funcionamiento</i>	Funcionan por medio de un motor de rotación, el cual transmite el movimiento a los rodillos por medio de cadenas, cintas u otros mecanismos, haciéndolos girar a una misma velocidad. Existen otros que utilizan la fuerza de gravedad como mecanismo para el transporte.
<i>Características</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajos coeficientes de fricción.</li> <li>• Versatilidad en intercambio de piezas.</li> </ul>
<i>Limitaciones</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor mantenimiento por su gran cantidad de piezas móviles.</li> <li>• No se recomienda en materiales que no estén empacados.</li> </ul>
<i>Tamaños</i>	Los rodillos se construyen de diversos materiales y tamaños, llegando a conseguir diámetros de hasta 7 cm y longitudes de 60 cm. La capacidad de este tipo de transportadores depende de la capacidad de carga de los rodillos.
<i>Aplicaciones</i>	Se utiliza generalmente en empresas de producción, con la finalidad de transportar el producto ya empacado de un sector a otro. Entre las industrias se encuentran: alimenticia, farmacéutica, cosmética, entre otras.

### Transportador de Cinta



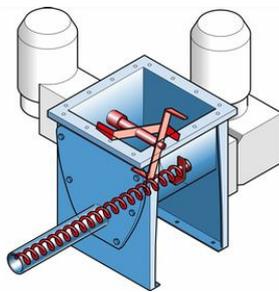
<i>Principio de funcionamiento</i>	Constan básicamente de una banda sinfin flexible que se desplaza apoyada sobre unos rodillos de giro libre. El desplazamiento de la banda se realiza por la acción de arrastre que le transmite uno de los tambores extremos, generalmente situado en la "cabeza".
<i>Características</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Posee una amplia variedad de tamaños y capacidades.</li> <li>• Amplia gama para operaciones de carga.</li> <li>• Las condiciones ambientales son mejores por su baja emisión de ruido y polvo.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajo consumo de energía.</li> <li>• Bajo mantenimiento.</li> <li>• La vida operativa es muy grande.</li> <li>• La capacidad de transporte de una cinta es independiente de la distancia.</li> </ul>
<i>Limitaciones</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiene limitaciones para transporte con inclinaciones.</li> <li>• Exige mayores inversiones iniciales.</li> <li>• Permite poca versatilidad para aumentar o modificar la producción, requiriendo, por tanto, una cuidadosa planificación.</li> </ul>
<i>Tamaños</i>	Las capacidades de este tipo de transportadores son muy variadas y pueden ir desde cintas muy pequeñas hasta grandes longitudes, pudiendo conseguir cintas de hasta 900 m de longitud con velocidades de 300 m/min y capacidades de 5700 a 8500 m <sup>3</sup> /h.
<i>Aplicaciones</i>	Poseen una gran cantidad de variantes, que los hacen sumamente versátiles para cumplir con diversas labores de transporte, pueden transportar desde distancias muy cortas hasta sumamente largas. Entre las industrias que las utilizan se encuentran: la alimenticia, la farmacéutica, minera, cosmética, química, entre otras. Este sistema de transporte es uno de los más comunes.

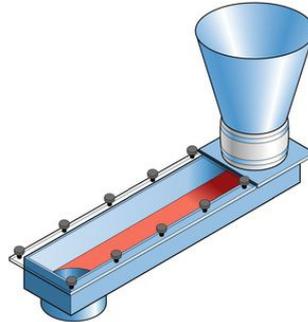
## Apéndice 6. Tipos de Tornillos Transportadores.

Nombre del tornillo	Aplicación
<p>Tornillo helicoidal</p> 	<p>Posee una hélice formada a partir de una lámina plana lisa, permite el transporte a diversas inclinaciones con bajo efecto de mezclado.</p>
<p>Tornillo de remos</p> 	<p>El eje posee adherido una serie de remos los cuales sirven para hacer el transporte del material permitiendo el mezclado a medida que avanza. Se puede usar para materiales sólidos como líquidos. Cambiando el ángulo de las paletas se regula la transmisión del movimiento.</p>
<p>Tornillo con remos de corte</p> 	<p>Las palas son colocadas a intervalos, neutralizando el flujo de materiales como permitiendo el corte durante el transporte. La agitación aumenta bastante el proceso de mezclado.</p>
<p>Tornillo de paso corto</p> 	<p>Son de construcción tradicional, pero poseen la diferencia de tener pasos cortos, esto les permite ser usados en transportes con inclinaciones grandes incluso verticales.</p>
<p>Tornillo de aspa doblada</p> 	<p>Los cortes y dobleces en el aspa del tornillo generan un efecto de cascada permitiendo un mejor mezclado y aireado. Se usa en materiales granulares y escamosos.</p>
<p>Tornillo de cinta</p> 	<p>Posee una cinta helicoidal soportada en diversos puntos al eje del tornillo. Se usa para transportar sustancias pegajosas, gomosas y viscosas o donde el material tiende a adherirse a la superficie del eje.</p>

## Apéndice 7. Tipos de Dosificadores

Dosificador de tornillos	
	
<i>Principio de funcionamiento</i>	<p>La dosificación se hace por medio de uno o varios tornillos sin fin; trasladando el material a lo largo de la tubería de descarga con un suave movimiento en espiral, producto de la rotación del tornillo. La velocidad de rotación del tornillo controla el ritmo de dosificación del material. La descarga se hace en una cantidad determinada de material por unidad de tiempo.</p>
<i>Características</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta precisión de alimentación.</li> <li>• Robusto, de diseño modular.</li> <li>• Máxima resistencia a la sobrecarga, disturbios mecánicos y vibraciones.</li> <li>• Especialmente diseñado para suspensiones con alta fricción.</li> <li>• Aceite de los amortiguadores regulable (solo gravimétricos).</li> <li>• Auto-optimización de control.</li> <li>• Rápido cambio de los productos y de la velocidad de avance.</li> <li>• Un gran número de tornillos y tamaños disponibles, diseñados para adaptarse a los diversos productos.</li> <li>• Amplia gama de herramientas de alimentación.</li> <li>• Rango de dosificación de 0.01 m<sup>3</sup>/h hasta 34 m<sup>3</sup>/h.</li> <li>• Capacidad de la tolva de 0.01 m<sup>3</sup> hasta 1.4 m<sup>3</sup></li> </ul>
<i>Aplicaciones</i>	<p>Sistema versátil capaz de manejar una gran cantidad de productos como polvos, gránulos, fibras, copos, etc., de fluidez fácil o difícil. Entre las industrias de aplicación se encuentran: alimenticias, plásticos, química, materiales de construcción, farmacéutica.</p>

### Dosificador de Canal Vibratorio



<i>Principio de funcionamiento</i>	<p>El material se descarga por medio de un canal vibratorio, esta vibración puede provenir de un sistema magnético o mecánico. La frecuencia de las oscilaciones y la inclinación del canal determinan la tasa de descarga del dosificador. El cálculo de la dosificación se hace por cierta cantidad de material por unidad de tiempo.</p>
<i>Características</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta precisión de alimentación.</li> <li>• Robusto, de diseño modular.</li> <li>• Máxima resistencia a la sobrecarga, disturbios mecánicos y vibraciones.</li> <li>• Especialmente diseñado para suspensiones con alta fricción.</li> <li>• Aceite de los amortiguadores regulable (solo gravimétricos).</li> <li>• Auto-optimización de control.</li> <li>• Rápido cambio de los productos y de la velocidad de avance.</li> <li>• Un gran número de tornillos y tamaños disponibles, diseñados para adaptarse a los diversos productos.</li> <li>• Amplia gama de herramientas de alimentación.</li> <li>• Suave manipulación de productos.</li> <li>• No hay rotura o desgaste</li> <li>• Sin pulsación</li> <li>• Libre transporte de polvos a través de la salida.</li> <li>• Fácil de limpiar y no deja residuos en la salida.</li> <li>• Muy bajo mantenimiento</li> <li>• Rango de dosificación de 0.001 m<sup>3</sup>/h hasta 10 m<sup>3</sup>/h.</li> </ul>
<i>Aplicaciones</i>	<p>Manejo de productos sensibles, granos frágiles de fácil fluidez como cereales, frutos secos, etc. Entre las industrias de aplicación se encuentran: farmacéuticas, plásticos, químicas, alimentos.</p>

### Dosificador de Correa



<i>Principio de funcionamiento</i>	La descarga se hace por medio de una correa transportadora la cual avanza a velocidad constante. La dosificación se hace en una cantidad de material por unidad de tiempo y la tasa de desplazamiento de material depende de la velocidad de la correa, dimensión del agujero que comunica la tolva con la correa y el ancho de la correa.
<i>Características</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La forma de alimentación y el modo de medición se pueden seleccionar.</li> <li>• Especial para productos frágiles.</li> <li>• Alta precisión de la alimentación.</li> <li>• Baja velocidad de la banda para evitar desgaste del producto.</li> <li>• Construcción robusta en diseño modular</li> <li>• Fácil limpieza.</li> </ul>
<i>Aplicaciones</i>	Manejo de productos con densidad y fluidez uniforme como harinas, polvo, talco, cal, etc. Entre las industrias de aplicación se encuentran: farmacéuticas, químicas, alimentos, construcción, etc.

### Dosificador por Baches



<i>Principio de funcionamiento</i>	La dosificación se hace por medio de una compuerta que se encuentra en la parte inferior de la tolva la cual abre y cierra según la cantidad de material que se requiera dosificar. Este tipo de dosificadores es del tipo discontinuo, ya que la descarga no se mide en cantidad de material por unidad de tiempo, sino que se produce la descarga hasta alcanzar un valor determinado (set point).
------------------------------------	--

<i>Características</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rápido cambio de los productos y la velocidad de avance.</li> <li>• Diseñado para adaptarse a los diversos productos. Construcción robusta en un diseño modular</li> <li>• Máxima resistencia a la sobrecarga, disturbios mecánicos y vibraciones</li> <li>• Auto-optimización de control, ajuste automático del flujo</li> <li>• Rango de dosificación de 0.01 m<sup>3</sup>/h hasta 50 m<sup>3</sup>/h.</li> </ul>
<i>Aplicaciones</i>	<p>Sistema versátil capaz de manejar una gran cantidad de productos como polvos, gránulos, fibras, copos, etc., de fluidez fácil o difícil. Entre las industrias de aplicación se encuentran: alimenticias, plásticos, química, materiales de construcción, farmacéutica.</p>