



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

## **Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra**

“Evaluación de Diferentes Sistemas para el Tratamiento de Residuos de Perforación en el Campo Tarapoa operado por la empresa Andes Petroleum S.A”

### **TESIS DE GRADO**

Previo a la obtención del Título de:

### **INGENIERO EN PETRÓLEOS**

Presentada por:

Adriana Cristina Ballesteros Villegas

**GUAYAQUIL - ECUADOR**

Año: 2007

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por todo su amor que me brinda día con día.

A toda mi familia por su invaluable apoyo.

A Kevin King e Ing. Mauricio Ruales y a todos los colaboradores de Qmax Ecuador S.A en general, quienes hicieron que este proyecto de Tesis se hiciera realidad.

A los amigos, profesores y compañeros todos, por compartir sus conocimientos y experiencias.

## **DEDICATORIA**

A MIS PADRES

A MIS HERMANOS

A ROBERTO

# TRIBUNAL DE GRADO

---

Ing. Ricardo Gallegos Orta.  
DECANO DE LA FICT  
PRESIDENTE

---

Ing. Daniel Tapia Falconí..  
DIRECTOR DE TESIS

---

Ing. Ricardo Gallegos Orta.  
VOCAL

---

Ing. Heinz Teran Mite.  
VOCAL

## **DECLARACIÓN EXPRESA**

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL”.

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

---

Adriana Cristina Ballesteros Villegas

## RESUMEN

El desarrollo de esta tesis contempla dos partes; la primera, es la recopilación, procesamiento y análisis de los métodos existentes para el Tratamiento de Rípios de Perforación en el Ecuador; y la segunda, es el desarrollo de una Propuesta Experimental "Confinamiento de Rípios provenientes del sistema de fluido base agua en Geotubos". El Campo de Acción fue en el Bloque Petrolero de Tarapoa operado por la empresa Andes Petroleum Company y el Fluido de Perforación es de la Empresa Qmax Ecuador S.A.

Se establece primeramente, la definición de Rípío de Perforación y su obtención incluyendo la revisión de Equipo de Circulación del Fluido de Perforación y del Equipo de Control de Sólidos. Luego se revisa el Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas (RAOH) lo referente al Tratamiento y Disposición de los Rípios; sus condiciones, prohibiciones y límites permisibles para tal propósito con el fin de minimizar los Impactos Ambientales, permitiendo un desarrollo sustentable de las empresas petroleras en las operaciones de manejo y disposición de rípios de perforación y de todos los ecuatorianos.

El trabajo de tesis continúa con la recopilación y procesamiento de toda la información necesaria para entender y tener una visión mas clara de todos y cada uno de los métodos existentes en el Ecuador para el Tratamiento y Disposición de Ripios y de los Métodos de referencia en otros países haciendo finalmente una evaluación de todos los sistemas señalando ventajas y desventajas de los mismos.

Finalmente se analiza el Sistema actual implementado en el Área de Tarapoa para el Tratamiento y Disposición de Ripios de Perforación señalando las ventajas y desventajas de la misma, y de acuerdo a esto se manifiesta una Propuesta Experimental como es el Confinamiento de Ripios en Geotubos señalando como se llevo a cabo el proceso, ventajas, desventajas, conclusiones y recomendaciones y de esta manera mitigar los posibles daños al medio ambiente provocados por los ripios de perforación.

# ÍNDICE GENERAL

|  |     |
|--|-----|
| RESUMEN.....   | I   |
| INDICE GENERAL.....  | III |
| ABREVIATURAS.....  | IX  |
| SIMBOLOGIA.....  | X   |
| INDICE DE FIGURAS.....   | XI  |
| INDICE DE TABLAS.....  | XIV |
| INTRODUCCION.....  | 1   |
| CAPITULO 1   |     |
| 1. RIPIOS DE PERFORACION.....  | 5   |
| 1.1. Definición de Ripios de Perforación.....  | 5   |
| 1.1.1. Generación de Ripios de Perforación.....  | 7   |
| 1.1.2. Efectos de los Ripios de Perforación sobre el Lodo durante la<br>Perforación..... | 9   |
| 1.1.3. Volumen de Ripios.....  | 11  |
| 1.2. Manejo de Desechos de Perforación.....  | 13  |

|  |    |
|--|----|
| 1.3. Equipo de Circulación del Fluido de Perforación.....            | 15 |
| 1.4. Selección de Ripios de Perforación (Control de Sólidos).....    | 17 |
| 1.4.1. Objetivos de Control de Sólidos.....                          | 18 |
| 1.4.2. Clasificación del Tamaño de Partículas.....                   | 18 |
| 1.4.3. Equipo de Control de Sólidos.....                             | 20 |
| 1.4.3.1. Zarandas Vibratorias (Shale Shakers).....                   | 20 |
| 1.4.3.2. Tamices (Shakers Screens).....                              | 21 |
| 1.4.3.3. Hidrociclones.....  | 21 |
| 1.4.3.4. Desarenadores (Desanders).....                              | 23 |
| 1.4.3.5. Deslimadores (Desilters).....                               | 24 |
| 1.4.3.6. Limpiadores de Lodo (Mud Cleaners).....                     | 24 |
| 1.4.3.7. Centrifugas.....  | 26 |
| 1.5. Deshidratación (Dewatering).....                                | 27 |
| 1.5.1. Componentes de la Unidad de Deshidratación (Dewatering)...    | 28 |
| 1.5.2. Procedimiento a seguir para la operación de Deshidratación... | 29 |

## CAPITULO 2

|  |    |
|--|----|
| 2. MARCO LEGAL Y REGULACIONES QUE RIGEN EL MANEJO DE LOS<br>RIPIOS DE PERFORACION..... | 31 |
| 2.1. Estructura Legal Aplicable.....   | 32 |
| 2.2. Relación con la Parte Medio Ambiental.....  | 34 |

|  |    |
|--|----|
| 2.2.1. Resumen de la Estructura Legal relacionada a la parte Medio Ambiental.....          | 35 |
| 2.2.2. Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas (RAOH).....             | 38 |
| 2.3 Procesamiento de Desechos Sólidos y Líquidos previo a su Tratamiento.....              | 44 |
| 2.3.1. Monitoreo de Cortes Tratados Previo a su Disposición Final...45                     |    |
| 2.3.2. Puntos a tomarse en cuenta al momento del Tratamiento de Ripios de Perforación..... | 47 |

### CAPITULO 3

|  |    |
|--|----|
| 3. MANEJO DE RIPIOS DE PERFORACION.....                                    | 54 |
| 3.1. Almacenamiento Temporal de los Ripios de Perforación.....             | 55 |
| 3.2. Tratamiento y Disposición Final de los Ripios de Perforación.....     | 57 |
| 3.2.1. Confinamiento en Piscinas y Celdas.....                             | 57 |
| 3.2.1.1 Ventajas del Método de Confinamiento en Piscinas y Celdas.....     | 63 |
| 3.2.1.2. Desventajas del Método de Confinamiento en Piscinas y Celdas..... | 63 |
| 3.2.2. Celdas y Terrazas.....  | 65 |
| 3.2.2.1 Ventajas del Método de Celdas y Terrazas.....                      | 70 |
| 3.2.2.2 Desventajas del Método de Celdas y Terrazas.....                   | 71 |

|   |     |
|---|-----|
| 3.2.3. Desorción Térmica.....   | 72  |
| 3.2.3.1. Ventajas de Método de Desorción Térmica.....   | 76  |
| 3.2.3.2. Desventajas del Método de Desorción Térmica.....   | 78  |
| 3.2.4 Incineración Controlada de Rípios de Perforación.....   | 79  |
| 3.2.4.1. Características del Equipo de Incineración.....  | 81  |
| 3.2.4.2. Normativa Legal.....   | 83  |
| 3.2.4.3. Ventajas del Método de Incineración Controlada de<br>Rípios de Perforación.....                          | 84  |
| 3.2.4.4 Desventajas del Método de Incineración Controlada de<br>Rípios de Perforación.....                        | 85  |
| 3.2.5 Estabilización/Solidificación de Rípios de Perforación.....   | 86  |
| 3.2.5.1 Ventajas del Método de Estabilización/Solidificación de<br>Rípios de Perforación.....                     | 86  |
| 3.2.5.2. Desventajas del Método de Estabilización/Solidificación<br>de Rípios de Perforación.....                 | 87  |
| 3.2.6. Tratamiento y Disposición Controlada de Sólidos de Perforación<br>provenientes de Fluidos Base Aminas..... | 88  |
| 3.2.6.1. Área de Acción.....  | 88  |
| 3.2.6.2. Generalidades del Método.....  | 91  |
| 3.2.6.3. Descripción del Proceso.....   | 93  |
| 3.2.6.4 Monitoreo de Seguimiento.....   | 105 |
| 3.2.6.5. Riesgos Ambientales.....   | 105 |

|   |     |
|---|-----|
| 3.2.6.6. Marco Legal.....   | 106 |
| 3.2.6.7. Ventajas del Método de Tratamiento y Disposición<br>Controlada.....    | 108 |
| 3.2.6.8. Desventajas del Método de Tratamiento y Disposición<br>Controlada..... | 108 |
| 3.2.7. Dispersión en el Terreno (Land Spread).....                              | 109 |
| 3.2.7.1. Ventajas del Método de Dispersión en el Terreno.....                   | 110 |
| 3.2.7.2. Desventajas del Método de Dispersión en el Terreno.....                | 110 |
| 3.2.8. Inyección de Ripios.....   | 112 |
| 3.2.8.1. Ventajas del Método de Inyección de Ripios.....                        | 115 |
| 3.2.8.2. Desventajas del Método de Inyección de Ripios.....                     | 116 |

## CAPITULO 4

|  |     |
|--|-----|
| 4. PROPUESTA EXPERIMENTAL.....                                   | 117 |
| 4.1. Generalidades del Proyecto.....                             | 118 |
| 4.1.1. Resumen del Proyecto.....                                 | 118 |
| 4.1.2. Definición de Geotubo.....                                | 119 |
| 4.1.3. Fluido de Perforación Utilizado en el Área de Acción..... | 121 |
| 4.2. Instalación Experimental.....                               | 123 |
| 4.2.1. Concepto de Coagulación y Floculación.....                | 124 |
| 4.3. Técnicas Analíticas.....                                    | 126 |

|   |     |
|---|-----|
| 4.4. Procedimiento Experimental y Resultados .....                                    | 127 |
| 4.4.1. Fotos del Proceso de Deshidratación ó Dewatering (150ml de muestra).....       | 130 |
| 4.4.2. Aplicación del Geotubo.....  | 139 |
| 4.4.2.1. Fotos del Proceso de Deshidratación o Dewatering (30 litros de muestra)..... | 142 |
| 4.4.3. Análisis de Ripios y Lixiviados.....   | 148 |
| 4.4.3.1 Fotos de los Análisis de Ripios y Lixiviados.....                             | 151 |
| <br>  |     |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....   | 154 |
| ANEXOS.....   | 158 |
| BIBLIOGRAFIA.....   | 181 |
| GLOSARIO.....   | 183 |

## ABREVIATURAS

|         |  |
|---------|--|
| API     | American Petroleum Institute                                 |
| ATSDR   | Agency for Toxic Substances and Disease Registry             |
| Ba      | Bario  |
| Cd      | Cadmio   |
| Cromo   | Cromo  |
| DINAPA  | Dirección Nacional de Protección Ambiental                   |
| ECS     | Equipo de Control de Sólidos.                                |
| GDT     | Geotube Demonstration Test                                   |
| HAP's   | Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos                        |
| HGS     | High Gravity Solids  |
| LGS     | Low Gravity Solids   |
| RAOH    | Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas. |
| ROP     | Rata de Perforación  |
| RPFC    | Reserva de Producción Faunística Cuyabeno                    |
| SG      | Specific Gravity   |
| TD      | Total Deph   |
| TPH     | Total Petroleum Hydrocarbons                                 |
| Vanadio | Vanadio  |

## SIMBOLOGÍA

|                   |                        |
|-------------------|------------------------|
| bbls              | Barriles               |
| cm                | centimetro             |
| ft                | pies                   |
| Ha                | Hectarias              |
| hr                | hora                   |
| m <sup>3</sup>    | Metros cúbicos.        |
| mg/l <sup>t</sup> | Miligramo por litro    |
| ml                | Mililitro              |
| mS/m              | Mili Siemens por metro |
| pH                | Potencial de Hidrógeno |
| pulg <sup>2</sup> | Pulgadas cuadradas     |
| °C                | Grados Centigrados     |
| °F                | Grados Farenheit       |
| μS                | Micro Siemens          |

## ÍNDICE DE FIGURAS

| <b>Figura</b> | <b>Nombre</b>  | <b>Página</b> |
|---------------|--|---------------|
| Fig. 1.1      | Instrumento de la Retorta.....   | 9             |
| Fig. 1.2      | Diagrama de los componentes del Fluido de Perforación.....                               | 9             |
| Fig. 1.3      | Volumen vs. Área Superficial de los sólidos.....   | 10            |
| Fig. 1.4.     | Secciones perforadas de un pozo X.....   | 12            |
| Fig. 1.5      | Tanques de Metal para la colecta y almacenamiento temporal de Ripios de Perforación..... | 13            |
| Fig. 1.6.     | Proceso a seguir de los Ripios de Perforación.....                                       | 14            |
| Fig.1.7       | Circuito del Fluido de Perforación.....  | 16            |
| Fig.1.8       | Clasificación de la Partícula por su tamaño.....   | 19            |
| Fig.1.9       | Zaranda Vibratoria.....  | 20            |
| Fig.1.10      | Partes de un Hidrociclón.....  | 22            |
| Fig.1.11      | Funcionamiento de un Hidrociclón.....  | 22            |
| Fig. 1.12.    | Desarenador (Desander).....  | 23            |
| Fig. 1.13     | Deslimador (Desilter).....   | 24            |
| Fig.1.14      | Deslimador (Desilter).....   | 24            |
| Fig.1.15      | Limpiador de Lodo (Mud Cleaner).....   | 25            |
| Fig.1.16      | Limpiador de Lodo (Mud Cleaner).....   | 26            |
| Fig. 1.17     | Centrifuga.....  | 27            |
| Fig. 1.18     | Equipo de Jarras.....  | 29            |
| Fig. 2.1      | Estructura Legal Aplicable a la Contaminación por Hidrocarburo...                        | 32            |
| Fig. 2.2      | Esquema de Tratamiento. ....   | 43            |
| Fig. 2.3      | Funda de Ripio de Perforación.....   | 46            |
| Fig. 3.1      | Área de disposición de cortes por celdas.....  | 60            |
| Fig. 3.2      | Vista Superior de un sistema de celdas al costado de una piscina                         | 61            |
| Fig. 3.3      | Vista Lateral y superior de una celda.....   | 62            |
| Fig. 3.4      | Distribución de Zonas para la construcción de Celdas y Terrazas en locación.....         | 66            |
| Fig. 3.5      | Celdas de la Zona 3 en forma de terraza.....   | 67            |
| Fig. 3.6      | Celdas de la Zona 2 y 3 en forma de terraza.....   | 68            |
| Fig. 3.7      | Áreas de disposición.....  | 69            |
| Fig. 3.8      | Áreas de disposición .....   | 69            |
| Fig. 3.9      | Áreas de disposición .....   | 69            |
| Fig. 3.10     | Planta de Tratamiento Térmico.....   | 72            |
| Fig. 3.11     | Planta de Tratamiento Térmico Indirecto.....   | 74            |
| Fig. 3.12     | “Thermal Oil Recovery System” Process Flow Design.....                                   | 75            |
| Fig. 3.13     | Planta de Incineración de Ripios.....  | 79            |
| Fig. 3.14     | Planta de Incineración de Ripios.....  | 80            |

|           |   |     |
|-----------|---|-----|
| Fig. 3.15 | Laguna Grande, Bosque Inundado/Cuyabeno.....  | 89  |
| Fig. 3.16 | Zona Intangible de la Reserva de Producción Faunística de Cuyabeno RPFC.....  | 90  |
| Fig. 3.17 | Bloque de Tarapoa.....  | 91  |
| Fig. 3.18 | Esquema de los elementos principales de una unidad de tratamiento en lechos.....  | 92  |
| Fig. 3.19 | Unidad de Lechos o de Landfarming.....  | 97  |
| Fig. 3.20 | Unidad de Lechos o de Landfarming.....  | 97  |
| Fig. 3.21 | Piscina de cemento receptora de lixiviados provenientes de la Unidad de Landfarming.....                                | 99  |
| Fig. 3.22 | Unidad de Lechos o de Landfarming.....  | 100 |
| Fig. 3.23 | Esquema de los elementos principales de las piscinas de tratamiento.....  | 101 |
| Fig. 3.24 | Parcelas o Platabandas de disposición final.....  | 103 |
| Fig. 3.25 | Utilización del Suelo Tratado para viveros o crecimiento de plantas después de los 6 meses de su disposición final..... | 104 |
| Fig. 3.26 | Reutilización del material Tratado en la elaboración de Adoquines..   | 104 |
| Fig. 3.27 | Flujo para la biorremediación de sólidos de perforación.....  | 106 |
| Fig. 3.28 | Opciones para inyectar ripios de perforación.....   | 113 |
| Fig. 3.29 | Proceso para la Inyección de Ripios.....  | 114 |
| Fig. 3.30 | Proceso para la Inyección de Ripios.....  | 114 |
| Fig. 4.1  | Geotubos de Tratamiento.....  | 117 |
| Fig. 4.2  | Geotubo.....  | 120 |
| Fig. 4.3  | Equipo Jar Test o Equipo de Jarras.....   | 123 |
| Fig. 4.4  | Desestabilización del coloide.....  | 125 |
| Fig. 4.5  | pHmetro.....  | 126 |
| Fig. 4.6  | Vaso- Geotubo de Prueba.....  | 129 |
| Fig. 4.7  | Solución de Coagulante y Floculantes.....   | 130 |
| Fig. 4.8  | Muestra de lodo con regulador de pH.....  | 130 |
| Fig. 4.9  | Muestra de lodo con regulador de pH y Coagulante.....   | 131 |
| Fig. 4.10 | Muestra de lodo con regulador de pH, Coagulante y floculante siendo adicionado.....                                     | 131 |
| Fig. 4.11 | Muestra de lodo coagulado y floculado.....  | 132 |
| Fig. 4.12 | Muestra de lodo con los floculos sedimentados.....  | 132 |
| Fig. 4.13 | Muestra de lodo con floculos totalmente sedimentados (acondicionado).....   | 133 |
| Fig. 4.14 | Muestra de lodo con floculos totalmente sedimentados (acondicionado).....   | 133 |
| Fig. 4.15 | Muestra de lodo acondicionada vaceada en el Vaso-Geotubo de Prueba.....   | 134 |
| Fig. 4.16 | Muestra de lodo acondicionada vaceada del Vaso-Geotubo de Prueba.....   | 134 |
| Fig. 4.17 | Estructura GDT ó Geotube Demonstration Test.....  | 139 |
| Fig. 4.18 | Partes de la Estructura GDT.....  | 141 |
| Fig. 4.19 | Adición de Regulador de pH a la muestra de lodo.....  | 142 |
| Fig. 4.20 | Adición de la mezcla (Coagulante, floculante 1 y floculante 2).....   | 142 |
| Fig. 4.21 | Agitación del lodo Floculado.....   | 143 |
| Fig. 4.22 | Lodo Floculado.....   | 143 |

|           |   |     |
|-----------|---|-----|
| Fig. 4.23 | Proceso de Vaceado del lodo acondicionado a la Bolsa GDT.....   | 144 |
| Fig. 4.24 | Lodo Acondicionado vaceado en la Bolsa.....   | 144 |
| Fig. 4.25 | Drenaje del Lixiviado.....  | 145 |
| Fig. 4.26 | Bolsa GDT después de una hora de haber sido llenada con lodo acondicionado.....                               | 145 |
| Fig. 4.27 | Muestras de Lixiviado (agua drenada) tomadas cada media hora por dos horas.....                               | 146 |
| Fig. 4.28 | Imágenes representativas de la Retorta realizada a los Ripios Confinados en el Geotubo a los 6 y 19 días..... | 151 |
| Fig. 4.29 | Ripio salido del geotubo a los 6 días.....  | 152 |
| Fig. 4.30 | Sólidos una vez realizada la Retorta.....   | 152 |
| Fig. 4.31 | Determinación de Ba, Cl, Fe, Sulfatos y sólidos suspendidos con el Equipo HATCH.....                          | 153 |
| Fig. 4.32 | Determinación de DQO (Demanda Química de Oxígeno) con el Equipo HATCH.....                                    | 153 |

## ÍNDICE DE TABLAS

| <b>Figura</b> | <b>Nombre</b>  | <b>Página</b> |
|---------------|--|---------------|
| Tabla 1.1.    | Clasificación de Cortes y Partículas Sólidas de acuerdo al tamaño de partícula.....        | 6             |
| Tabla 1.2     | Volumen del hueco de un pozo X.....  | 12            |
| Tabla 1.3     | Clasificación de la Partícula por su tamaño.....   | 20            |
| Tabla 2.1     | Listado de Empresas con Licencia Ambiental.....  | 48            |
| Tabla 2.2     | Propiedades Físico Química de los Ripios de Perforación en el Área de Fanny, Tarapoa. .... | 52            |
| Tabla 4.1     | Resultados Dewatering 150ml.....   | 128           |
| Tabla 4.2     | Resultados para Dewatering inicial 500ml.....  | 136           |
| Tabla 4.3     | Resultados Finales de Dewatering 500ml y extrapolación para 30 litros.....                 | 138           |
| Tabla 4.4     | Resultados Retorta @ los 19 días.....  | 148           |
| Tabla 4.5     | Resultados Retorta @ los 6 días.....   | 149           |
| Tabla 4.6     | Promedios Retorta.....   | 149           |
| Tabla 4.7     | Promedios Lodo.....  | 149           |
| Tabla 4.8     | Resultado Lixiviados.....  | 150           |