



FACULTAD DE POSGRADOS

OPTIMIZACIÓN EN EL MANEJO DE LA GENERACIÓN DE RIPIOS DE PERFORACIÓN DEL  
LODO BASE ACEITE, A TRAVÉS DE OPERACIONES HELI-TRANSPORTABLES, DURANTE  
LAS OPERACIONES DE PERFORACIÓN EN EL ORIENTE ECUATORIANO,  
MEDIANTE HERRAMIENTAS DE MEJORAS DE PROCESOS 5WH1

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos establecidos  
para optar por el título de Magíster en Dirección de Operaciones  
y Seguridad Industrial

Profesor Guía  
MBA Francisco Patricio Espín Zapata

Autor  
John Antonio Albuja Ortega

Año  
2017

## DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”

---

Francisco Patricio Espín Zapata

Magister en Gerencia Empresarial

CI: 1703090868

## DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

“Declaro haber revisado este trabajo, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”

---

Christian Estuardo Hinojosa Godoy

Magister en Gerencia Empresarial

CI: 1712017100

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes”

---

John Antonio Albuja Ortega

CI: 1712450103

## AGRADECIMIENTOS

A mi profesor guía, Patricio Espín, que con su incondicional ayuda, conocimiento y experiencia, me motivaron a desarrollar y concluir este trabajo de investigación con éxito y sabiduría.

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi amada esposa Cris, por su apoyo y ánimo que me brinda día con día para alcanzar nuevas metas, tanto profesionales como personales.

A mis adorados hijos Daniela y Francisco, a quienes siempre cuidaré para verlos hechos personas capaces y que puedan valerse por sí mismos.

## **RESUMEN**

El objetivo de este trabajo es plantear un sistema de manejo de los rípios generados, por lodo base aceite, durante la perforación de pozos, a través de logística heli-transportable que sea factible y viable en términos técnicos y económicos para cualquier operadora que trabaje en el Oriente Ecuatoriano.

Para este fin se aplica la herramienta de las 5WH1, donde se identifican los problemas que generan altos costos e impacto ambiental.

El alcance de esta investigación es fomentar la aplicación de nuevas tecnologías en la industria petrolera en nuestro país, con el fin de que las operadoras alcancen la excelencia operacional.

## **ABSTRACT**

The objective of this work is to propose an alternative management system for the drilling cuttings, generated with oil based mud, by heli-transportable logistic during oil wells drilling, feasible and reliable for any Operator that works in the Ecuadorian Oriente Basin.

The 5WH1 technical tool is applied for this purpose, where problems that generate high costs and environmental impact are identified.

The scope of this research is to promote the application of new technologies in oil industry in our country, encouraging other operators to achieve operational excellence.

# ÍNDICE

1.	SITUACIÓN ACTUAL .....	1
1.1.	Antecedentes .....	1
1.2.	Planteamiento del problema .....	5
1.3.	Alcance .....	9
1.4.	Justificación .....	10
1.5.	Objetivos.....	12
1.5.1.	Objetivo General.....	12
1.5.2.	Objetivos Específicos .....	12
1.6.	Hipótesis.....	12
1.7.	Metodología aplicada .....	12
2.	MARCO TEÓRICO .....	14
2.1.	Proceso de Perforación .....	15
2.1.1.	Fluidos de Perforación.....	21
2.1.2.	Manejo de los Ripios de Perforación .....	21
2.1.3.	Logística de los Ripios de Perforación.....	23
2.1.4.	La técnica 5WH1 .....	23
2.1.5.	Desorción Térmica.....	24
3.	EVALUACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL EN LAS EMPRESAS REFERENTE AL PROBLEMA PLANTEADO .....	27
3.1.	Datos para analizar (Aplicación de Herramienta de Diagnóstico).....	27
3.1.1.	Proceso de Biorremediación.....	29
3.1.1.1.	Recepción .....	30
3.1.1.2.	Características del Contaminante .....	32
3.1.1.3.	Tecnología Aplicada.....	33
3.1.1.4.	Métodos Analíticos.....	37

3.1.1.5. Muestreo .....	37
3.1.1.6. Regulación Legal .....	37
3.2. Análisis de Datos o descripción de causa y efecto .....	38
<b>4. DISEÑO DE LA PROPUESTA .....</b>	<b>44</b>
4.1. Propuesta de Mejora .....	44
4.1.1. Descripción del Proceso .....	46
4.1.2. Regulación Legal.....	52
4.2. Aplicación de Herramienta Técnica .....	53
4.3. Diseño Implementación/Plan de Acción .....	56
4.3.1. Bases del Diseño.....	56
4.3.2. Diseño y Selección del Equipo .....	56
4.3.3. Distribución General del Sitio .....	57
4.3.4. Tiempos y Términos Contractuales .....	59
4.4. Discusión de Resultados .....	60
<b>5. ANÁLISIS COSTO – BENEFICIO.....</b>	<b>63</b>
5.1. Inversiones.....	63
5.2. Beneficios.....	64
5.3. Cálculo Indicador Costo - Beneficio.....	67
<b>6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>68</b>
6.1. Conclusiones.....	68
6.2. Recomendaciones .....	69
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>71</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>74</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Primer pozo de descubrimiento Lago Agrio-01 .....	1
Figura 2. Mapa de Bloques Petroleros en Ecuador.....	3
Figura 3. Foto aérea construcción carretera en el Oriente Ecuatoriano .....	4
Figura 4. Fotos aéreas de plataformas de perforación por acceso terrestre y heli-transportable de diferentes bloques en el Ecuador .....	5
Figura 5. Transporte aéreo a una plataforma en el Oriente Ecuatoriano .....	6
Figura 6. Transporte aéreo por Helicóptero Pesado y Liviano .....	7
Figura 7. Diagrama Típico de la Línea de flujo en locaciones remotas .....	8
Figura 8. Línea de flujo que comunica los pozos con las Facilidades de Producción .....	8
Figura 9. Línea de flujo – Vista aérea.....	9
Figura 10. Corte transversal de generación de los Cortes durante la Perforación .....	15
Figura 11. Corte transversal de generación de los Cortes durante la Perforación .....	17
Figura 12. Cortes de perforación generados y receptados en las zarandas superficiales.....	18
Figura 13. Vista transversal de un pozo con las tuberías de revestimiento .....	19
Figura 14. Diagrama típico de un pozo terminado horizontal en el Oriente Ecuatoriano .....	20
Figura 15. Diagrama de procesos para el manejo de los Rípios de Perforación desde su disposición inicial hasta el proceso de Biorremediación .....	28
Figura 16. Subprocesos de Biorremediación.....	30
Figura 17. Ubicación de Facilidades de Tratamiento de la Contratista para Rípios Base Aceite.....	31
Figura 18. Lavado de suelos .....	34
Figura 19. Biorremediación .....	35
Figura 20. Mezclado con el material absorbente y orgánico .....	35
Figura 21. Mezclado con la pala mecánica .....	36
Figura 22. Aireación del suelo .....	36

Figura 23. Diagrama de Causa Efecto aplicado al proceso de Biorremediación para el Tratamiento de los rípios de perforación.....	40
Figura 24. Proceso de Desorción Térmica .....	45
Figura 25. Unidad de Separador de Fase Térmica - TPS-1 .....	46
Figura 26. Corte Transversal de la Cámara de Extracción de la unidad TPS.....	47
Figura 27. Diagrama de flujo de la unidad del separador de fase térmica .....	48
Figura 28. Esquema de los principales componentes de la unidad TPS-2 .....	51
Figura 29. Esquema de distribución en un sitio genérico de una unidad TPS-1 .....	57
Figura 30. Vista de mapa de la locación de los pozos .....	58
Figura 31. Esquema del sistema de manejo de los rípios de perforación genérico.....	58
Figura 32. Esquema del diagrama de flujo del campo .....	59
Figura 33. Diagrama de procesos para el manejo de los Rípios de perforación desde su disposición inicial hasta el proceso de Desorción Térmica .....	62

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Capacidades de las Estaciones de Remediación.....	32
Tabla 2. Límites permisibles para la identificación y remediación de suelos contaminados.....	38
Tabla 3. Resultados obtenidos del tratamiento de los ripios por Biorremediación para los 3 pozos horizontales.....	38
Tabla 4. Cantidades Mensuales de Tratamiento por Biorremediación por la Contratista – año 2009.....	41
Tabla 5. Cantidades Mensuales de Tratamiento por Biorremediación por la Contratista – año 2010.....	42
Tabla 6. Cantidades Mensuales de Tratamiento por Biorremediación por la Contratista – año 2011.....	43
Tabla 7. Parámetros de manejo para tierras reusables.....	52
Tabla 8. Límites permisibles de lixiviados para la disposición final de lodos y ripios de perforación en superficie.....	53
Tabla 9: Técnica 5WH1 aplicada al actual sistema de tratamiento de ripios de perforación.....	54
Tabla 10. Resultados obtenidos del tratamiento de los ripios por Desorción Térmica para los 3 pozos horizontales.....	60
Tabla 11. Plan de Presupuestos Pozos Horizontales – 3 pozos.....	63
Tabla 12. Comparación de costos por pozo – Operaciones Heli-transportables – Biorremediación vs Desorción Térmica.....	64
Tabla 13. Comparación de costos por pozo – Operaciones por vía terrestre – Biorremediación vs Desorción Térmica.....	66
Tabla 14. Análisis Económico “Pozos Horizontales” – CAPEX – OPEX.....	67

## 1. SITUACIÓN ACTUAL

### 1.1. Antecedentes

En el año 1967 se marcó un hito en la historia ecuatoriana con el descubrimiento de interesantes reservas por parte del consorcio Texaco Gulf. El pozo descubridor Lago Agrio 1, perforado hasta un poco más de 10,000 pies de profundidad hizo brotar petróleo en un caudal que superó los 2600 bbls diarios. Este interesante evento atrajo la atención de otras empresas, varias las cuales subscribieron acuerdos de concesión y el gobierno promulgó importantes leyes en materia hidrocarburífera (Fontaine, 2004).



Figura 1. Primer pozo de descubrimiento Lago Agrio-01  
Tomada de (Arcentales & Sotomayor, 2013)

En el año 1972 se conformó CEPE “Corporación Estatal Petrolera Ecuatoriana”, que tomó a su cargo actividades referidas a la fase de explotación, exploración, transporte, refinación y comercialización de crudo, conforme a su ley constitutiva (Acosta, 2000).

El auge de las exportaciones petroleras, conocido como el boom petrolero (1972-1981), fue un eje importante en la historia de la economía ecuatoriana. El 26 de Septiembre de 1989, CEPE se transformó en Petroecuador al asumir también las operaciones de Anglo en la península de Santa Elena, la cual se encarga de la exploración y explotación de hidrocarburos directamente a través de Petroecuador o por contratos de asociación con empresas operadoras.

En el año 2010, Petroecuador se transformó en EP Petroecuador mediante Decreto No. 314 y 315 de la Ley de Hidrocarburos, dándole una visión más estratégica con respecto al manejo de los contratos entre EP Petroecuador y las compañías privadas, según la Administración Actual (Ganuza C., 2012).

En este mismo año, se creó la Secretaria de Hidrocarburos (SHE) y la Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero (ARCH), encargándose ésta última de la administración, regulación, control y fiscalización de las actividades técnicas y operacionales de la industria hidrocarburífera en el país (Ganuza C., 2012)

La Secretaria de Hidrocarburos (SHE) es la encargada de estudiar, cuantificar y evaluar el patrimonio hidrocarburífero, así como promocionarlo y captar inversión nacional y/o extranjera, de acuerdo a las leyes vigentes en materia Hidrocarburífera, de esta manera se adjunta el Mapa de Bloques Petroleros actual (2015) donde se puede visualizar los bloques y campos asignados para la explotación y exploración petrolera en nuestro país.

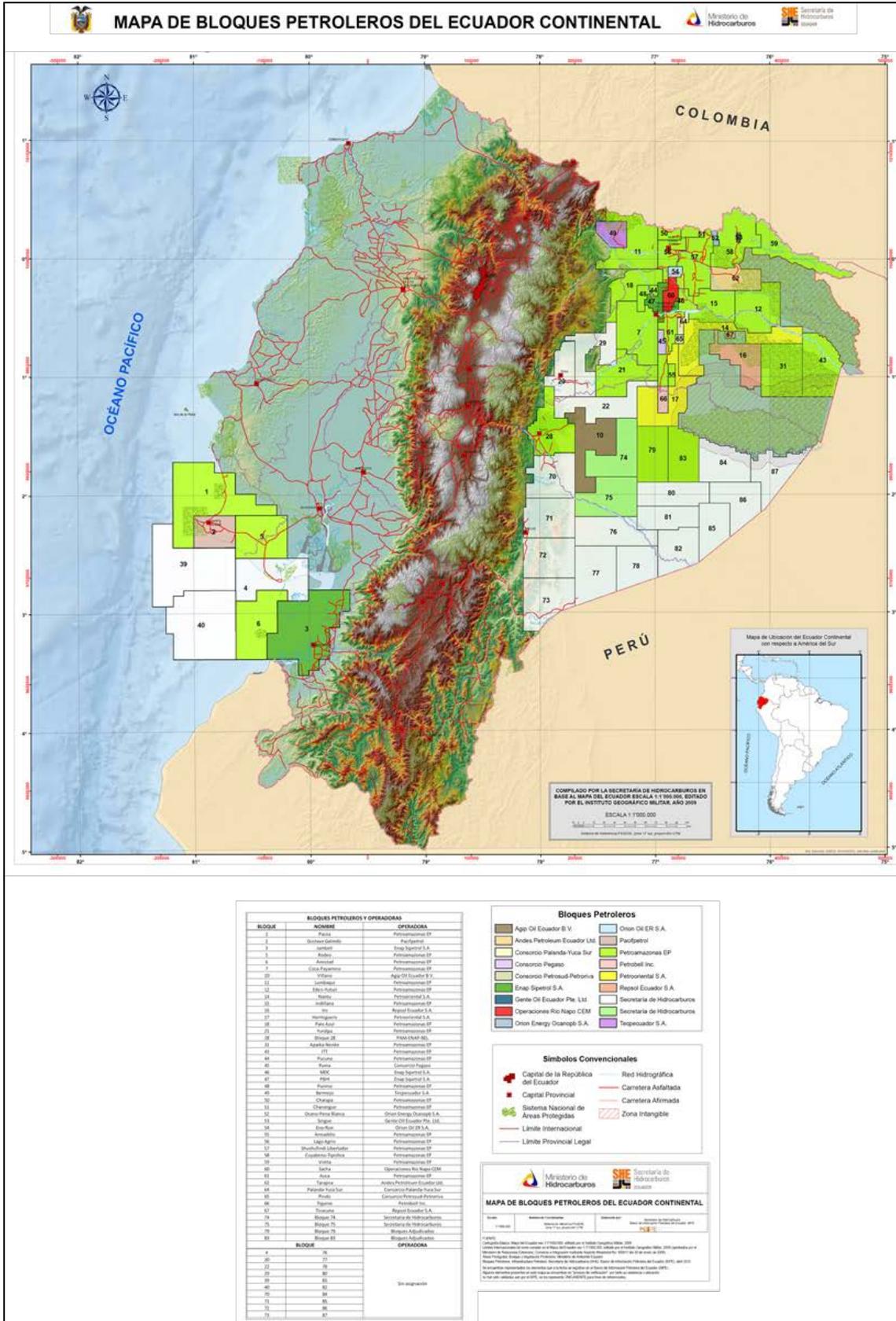


Figura 2. Mapa de Bloques Petroleros en Ecuador  
Tomada de (Mapa de Bloques Petroleros del Ecuador Continental, 2015)

Como se puede apreciar hay varias empresas petroleras operando en el Oriente Ecuatoriano, con diferentes modalidades contractuales. Además se puede constatar el amplio desarrollo de las actividades hidrocarburíferas por parte de las mismas en nuestro país, hasta la fecha.

Muchas de estas compañías ejecutaron sus actividades y lo siguen haciendo a través de vía terrestre, fluvial o por vía aérea.

La construcción de carreteras lastimosamente es una de las principales causas de deforestación tropical, especialmente en la Amazonía, ya que estos nuevos accesos desencadenan en una serie de impactos socio-ambientales incontrolables, tales como como son la tala ilegal, la caza y colonización a lo largo de la vía, que en última instancia conducen a la fragmentación del hábitat y a la degradación de los ecosistemas (Finer, Vijay, Pappalardo, & De Marchi, 2013).



Figura 3. Foto aérea construcción carretera en el Oriente Ecuatoriano  
Tomada de (Finer et al., 2013)



Figura 4. Fotos aéreas de plataformas de perforación por acceso terrestre y heli-transportable de diferentes bloques en el Ecuador  
Tomada de (Finer et al., 2013)

Las operadoras que utilizan logística por medios heli-transportables lo hacen para causar el mínimo impacto ambiental a un ecosistema tan sensible como es el Amazónico, y también en base a las nuevas legislaciones Ambientales, cada vez más exigentes y rigurosas.

Para poder delimitar el objeto de esta investigación, se centrará solamente a operaciones de perforación a través de operaciones heli-transportables, ya que es un tema bastante amplio si se consideran además logística terrestre y fluvial.

## 1.2. Planteamiento del problema

Toda actividad de perforación de pozos genera una gran cantidad de material que sale del mismo (agua, lodos, sólidos, etc.) conocidos como ripios de perforación, y deben ser manejados y tratados adecuadamente, ya que debido

a su compleja composición química, pueden generar un considerable daño ambiental, más aún, si son generados por lodo base aceite que son mucho más contaminantes; pudiendo llegar a ser un gran problema para cualquier compañía operadora petrolera. Se debe evaluar la disposición, transporte y tratamiento de estos materiales.

Con este antecedente, se puede deducir que las operaciones logísticas y específicamente, los costos relacionados al tratamiento de los ripios de perforación son extremadamente elevados, ya que debe haber una mayor logística para el transporte y disposición de los mismos, además de que involucran un mayor tiempo de operación (por factores tales como condiciones climáticas, disponibilidad de vuelos, etc.).



Figura 5. Transporte aéreo a una plataforma en el Oriente Ecuatoriano  
Tomada de (Lathrop, Robin, & Slack, 1999)

Un análisis de costos de 3 pozos horizontales perforados en los últimos años en nuestro país (2009-2011), en los que mediante operaciones heli-transportables, se estableció un valor de \$16,873,057, correspondiente a los

procesos de logística, en un tiempo estimado de año y medio, de los cuales \$3,434,391 son costos directamente asociados al tratamiento de ripsos de perforación con el método de biorremediación, usado muy comúnmente en nuestro país; se puede mencionar que los costos solamente del tratamiento de los ripsos de perforación esta por el orden de \$1,449,960.

Actualmente existen muy pocas compañías petroleras en el Oriente Ecuatoriano con operaciones heli-transportables que se preocupan en minimizar el impacto ambiental al bosque tropical amazónico, esto debido a la no presencia de vías terrestres hacia la locación. La mayor parte de estas compañías, incluso la empresa pública, están desarrollando actividades de perforación a través de vía terrestre.



Figura 6. Transporte aéreo por Helicóptero Pesado y Liviano  
Tomada de (Lathrop et al., 1999)

La falta de información disponible en el país acerca del manejo de ripsos generados durante la perforación de pozos y los pocos trabajos de investigación, especialmente los generados con lodo base aceite, hacen

necesaria la indagación de otros métodos que generen el mínimo impacto ambiental y sean económicos.

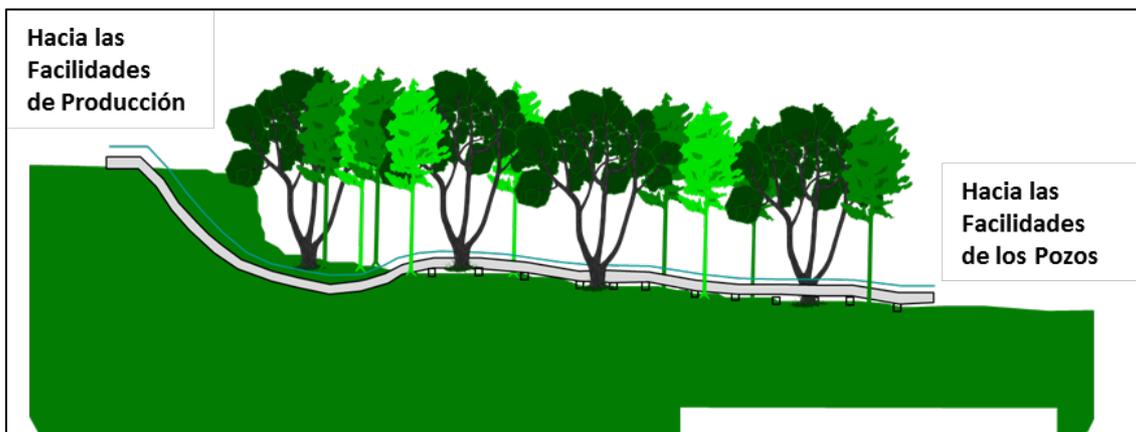


Figura 7. Diagrama Típico de la Línea de flujo en locaciones remotas  
Tomada de (Lathrop et al., 1999)

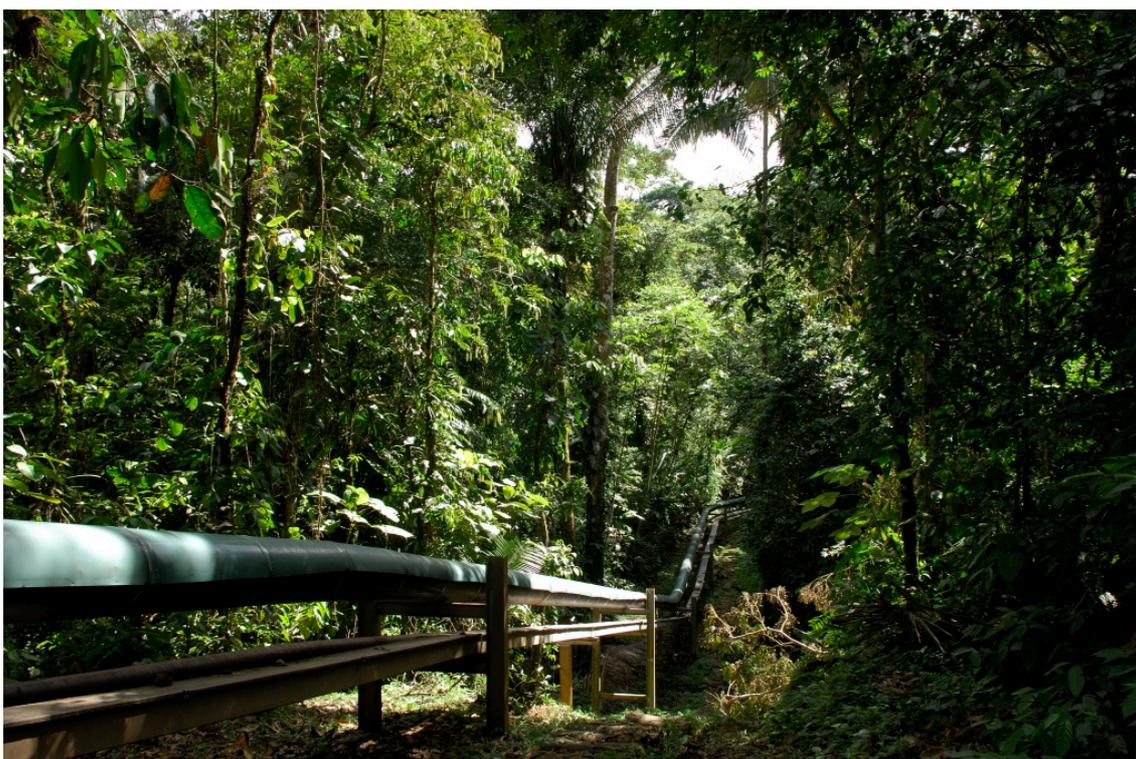


Figura 8. Línea de flujo que comunica los pozos con las Facilidades de Producción  
Tomada de (Lathrop et al., 1999)

En este tipo de operaciones heli-transportables, la línea de flujo para el transporte de crudo fue construida por medio de un mono-riel, técnica innovadora que se utilizó por primera vez en la industria hidrocarbúrica en

nuestro país, adicionalmente junto a la tubería se instaló cable de poder y fibra óptica.



Figura 9. Línea de flujo – Vista aérea  
Tomada de (Lathrop et al., 1999)

Mediante las herramientas de mejoras de procesos 5WH1, se quiere identificar las áreas donde hay más gasto de recursos técnicos y económicos para proponer un sistema alternativo viable y factible que pueda reemplazar al actual en algún momento dependiendo de la decisión de las compañías operadoras.

### **1.3. Alcance**

El ámbito de aplicación del presente trabajo es amplio, involucra a todas las operadoras dedicadas a exploración y explotación de crudo a nivel nacional e internacional. Este trabajo de investigación se centra en el manejo de los rípios de perforación generados a través de operaciones heli-transportables de petroleras que trabajan en el Oriente Ecuatoriano, pero tiene mucha aplicabilidad para otras empresas que tengan operaciones similares de perforación por vía terrestre o fluvial.

Las áreas de aplicación directamente relacionadas con la presente investigación, que puede servir como objeto de estudio u evaluación para otras compañías son los lodos de perforación, control de sólidos, planificación y diseño de futuros pozos, que pueden optimizarse técnica y económicamente, dependiendo de las necesidades de la compañía.

El alcance de esta tesis es fomentar e incentivar a otras empresas operadoras, a buscar nuevas tecnologías, experiencias y eficiencia operacional para alcanzar la excelencia operativa.

#### **1.4. Justificación**

Las actividades hidrocarburíferas en el Ecuador, en particular, lo referente a la fase de Desarrollo y Producción Hidrocarburífera, se hallan reguladas por la Legislación Ambiental, personificada en el Reglamento Sustitutivo Ambiental; y, que en términos generales, la Ley de Hidrocarburos, “obliga a PETROECUADOR sus contratistas o asociados en exploración y explotación de hidrocarburos, refinación, transporte y comercialización, a ejecutar sus labores sin afectar negativamente a la organización económica y social de las poblaciones asentadas en su área de acción, ni a los recursos naturales renovables y no renovables locales; así como conducir las operaciones petroleras de acuerdo a las leyes y reglamentos de protección del medio ambiente y de seguridad del país”. (Constitución de la República del Ecuador (2008), RAOH, Decreto Ejecutivo 1215, Registro Oficial No. 265, Art. 31, literales s y t).

Los bosques tropicales húmedos albergan aproximadamente un 10% de todas las especies de animales y plantas del mundo, siendo un área de mayor diversidad biológica del planeta. Esta es la razón principal de cómo fueron diseñados estos proyectos en locaciones remotas, y que sean básicamente operaciones heli-transportables, bajo los siguientes principios:

- “Minimizar cualquier impacto sobre el medio ambiente, que pueda ocurrir como resultado del desarrollo”.
- “Mantener un diálogo franco y abierto con las comunidades indígenas del área para asegurar trabajo conjunto y oportunidades sociales” (Lathrop et al., 1999)

En la actualidad y en términos generales, hablando de operaciones en general de cualquier tipo (no solo hidrocarburíferas), toda empresa busca ser cada vez más eficiente y eficaz, para poder mantenerse en el mercado y ser más competitiva, “la aplicación de la mejora de sus procesos contribuiría a mejorar la empresa a través de la mejora continua” (Trias, Gonzalez, Fajardo, & Flores, 2009).

Además considerando la creciente demanda y la necesidad de diversas técnicas para el manejo de los ripsos que se generan durante la perforación de un pozo, hace que las empresas petroleras busquen nuevas opciones para sus operaciones de exploración y explotación de petróleo de una manera sostenible y que contribuya con el desarrollo del país.

Con estos antecedentes se desea evaluar el proceso de manejo de ripsos de perforación actual a través de las técnicas de mejora de procesos 5WH1.

Mediante estas técnicas se desea identificar las áreas en el proceso de manejo de ripsos de perforación donde se genera más gasto de recursos económicos, técnicos y tiempo en estas actividades de perforación de pozos. Una vez identificados estos procesos, proponer un modelo alternativo al mismo, que genere el mínimo impacto ambiental, y posteriormente analizar la factibilidad y viabilidad técnica y económica de este nuevo modelo a proponerse.

## **1.5. Objetivos**

### **1.5.1. Objetivo General**

Plantear un sistema de manejo de ripsos de perforación generados en la perforación de pozos, por lodo base aceite que sea factible y viable técnica y económicamente para las empresas petroleras que operan en nuestro país.

### **1.5.2. Objetivos Específicos**

- Presentar un sistema de manejo de ripsos generados durante la perforación de un pozo que genere un mínimo impacto ambiental.
- Formular un marco de referencia por medio de herramientas de mejoras de procesos 5WH1, Porque y Como para justificar esta implementación.
- Comparar el sistema actual de manejo de los ripsos de perforación de una operadora petrolera en el Oriente Ecuatoriano con el modelo propuesto.
- Evaluar ventajas y desventajas operativas entre el sistema actual con el propuesto.

## **1.6. Hipótesis**

Es posible implementar un proceso de manejo de ripsos de perforación en la locación, que genere el mínimo impacto ambiental y que reduzca los costos logísticos de transporte en helicóptero?

## **1.7. Metodología aplicada**

Se desea chequear, analizar y verificar el sistema actual de manejo de ripsos de perforación utilizado por las operadoras petroleras en las últimas campañas de perforación (2009-2011). Revisar datos de resultados y costos. Por tanto este método deductivo: nos permite partiendo de datos generales aceptados como válidos llegar a una conclusión de tipo particular.

Posteriormente aplicar las herramientas de mejoras de procesos 5WH1, y con el criterio de menor impacto ambiental, reducción de costos y mejor opción

técnica factible, proponer un nuevo manejo de ripsos de perforación para mejorar al proceso actual.

Luego analizar la factibilidad y viabilidad de un nuevo modelo de procesos, llamado desorción térmica, y si se puede implementar en cualquier operadora que planifique actividades de perforación.

## 2. MARCO TEÓRICO

La búsqueda de petróleo u “oro negro” ha sido una actividad de bastante demanda y mucho valor en los últimos años, en los primeros tiempos la búsqueda de petróleo no era muy científica, si afloraba a la superficie, se perforaba allí, o si no era una búsqueda al azar (Iglesias, 2009).

Con el paso de los años muchas técnicas han mejorado y se han implementado para la extracción de petróleo y gas de la manera más segura y eficiente.

Es así que hoy en día hay algunas compañías que se dedican a la explotación y extracción de crudo alrededor del mundo. Se puede decir que este proceso se lo puede dividir en 3 fases: exploración, perforación y desarrollo/producción.

La fase de Exploración es aquella en donde se desarrolla la búsqueda del crudo, para esto se utiliza: sísmica y análisis geológico para realizar estimaciones de reservas y localización. Con estos datos se realiza un estudio de factibilidad a ver si la exploración es rentable económicamente para la empresa.

La fase de perforación es aquella donde se ingresa en las formaciones geológicas, por medio de equipos especializados, para alcanzar el objetivo propuesto, en este caso el crudo que se analizó en la fase anterior. Este proceso inicia con una planificación de la perforación (permisos, elaboración de contratos y programas técnicos), ejecución de la actividad en sí y la terminación/completación del pozo.

La fase de desarrollo/producción es aquella donde se preparan las instalaciones superficiales para recibir el pozo ya terminado que comienza a producir, normalmente estas actividades casi van de la mano con las actividades de perforación.

## 2.1. Proceso de Perforación

Para objeto de estudio se va a analizar la perforación de pozos en tierra (onshore) que son los modelos típicos de los pozos que se perforan en el Oriente Ecuatoriano. El proceso de perforación básico de un pozo se lo muestra en la Figura 10:

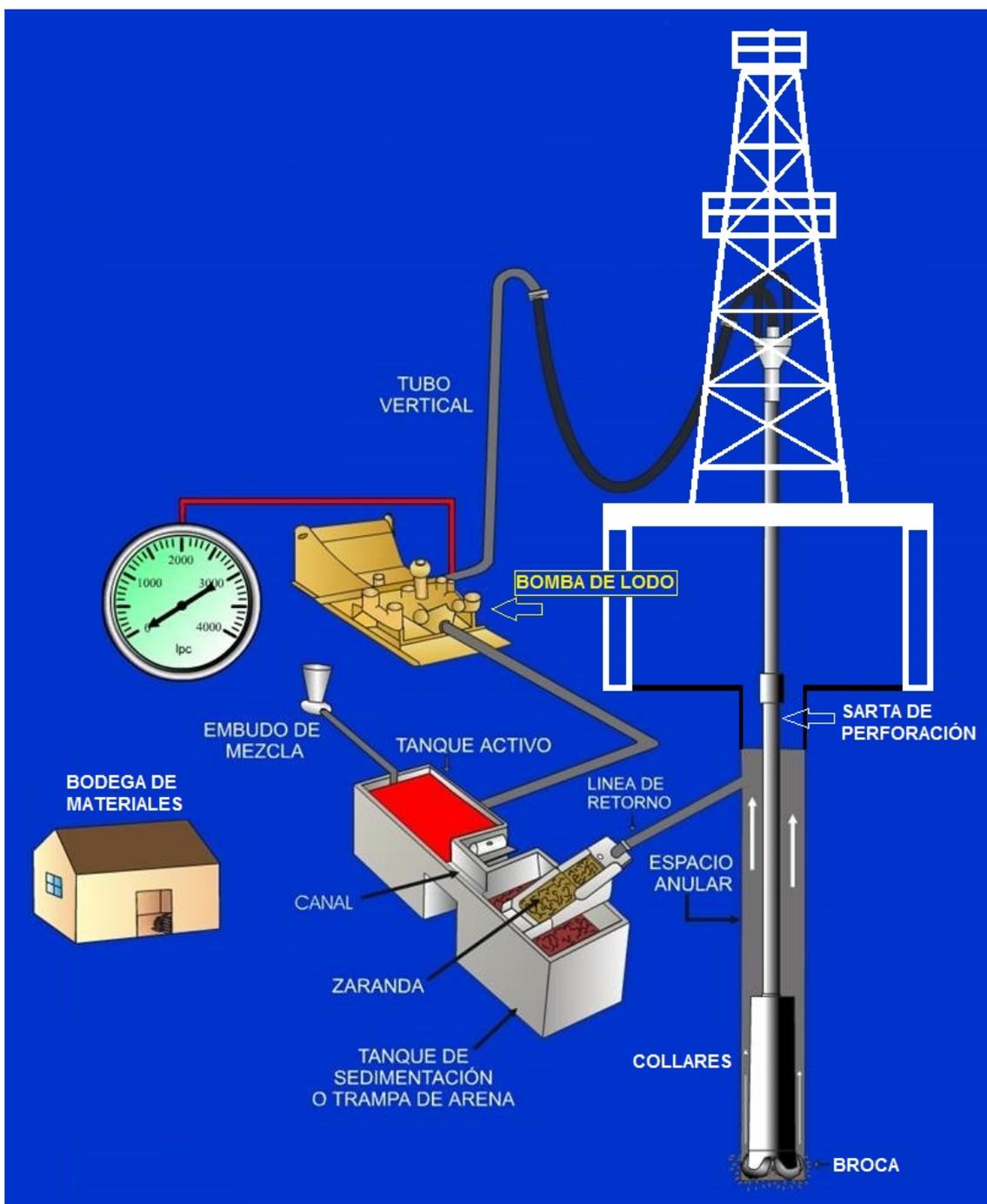


Figura 10. Corte transversal de generación de los Cortes durante la Perforación  
Adaptada de (Sistemas de Circulación de PDVSA, 2002)

Para la perforación de un pozo se requiere al menos el mínimo equipo especializado para tal efecto:

- Bodega de materiales
- Taladro de perforación
- Bombas de lodo
- Tubería y equipo de fondo para perforación
- Zarandas
- Líneas superficiales
- Generadores
- Tanques de reserva
- Unidad de cementación
- Equipos superficiales para manipular cargas

La perforación de un pozo comienza cuando a través de la torre de perforación se baja y se realiza un hueco con una broca, herramientas de fondo especializadas y tubería de perforación a través de rotación. Para poder hacer esta actividad se requiere que circule un fluido conocido como lodo de perforación a través de líneas superficiales por medio de bombas de lodo. Este fluido al llegar al fondo del hueco regresa a superficie a través del espacio anular entre la tubería y la formación, al hacerlo trae material de fondo a superficie que se lo recepta en las zarandas para su adecuado manejo y disposición en superficie, dicho material es conocido como los ripios de perforación.

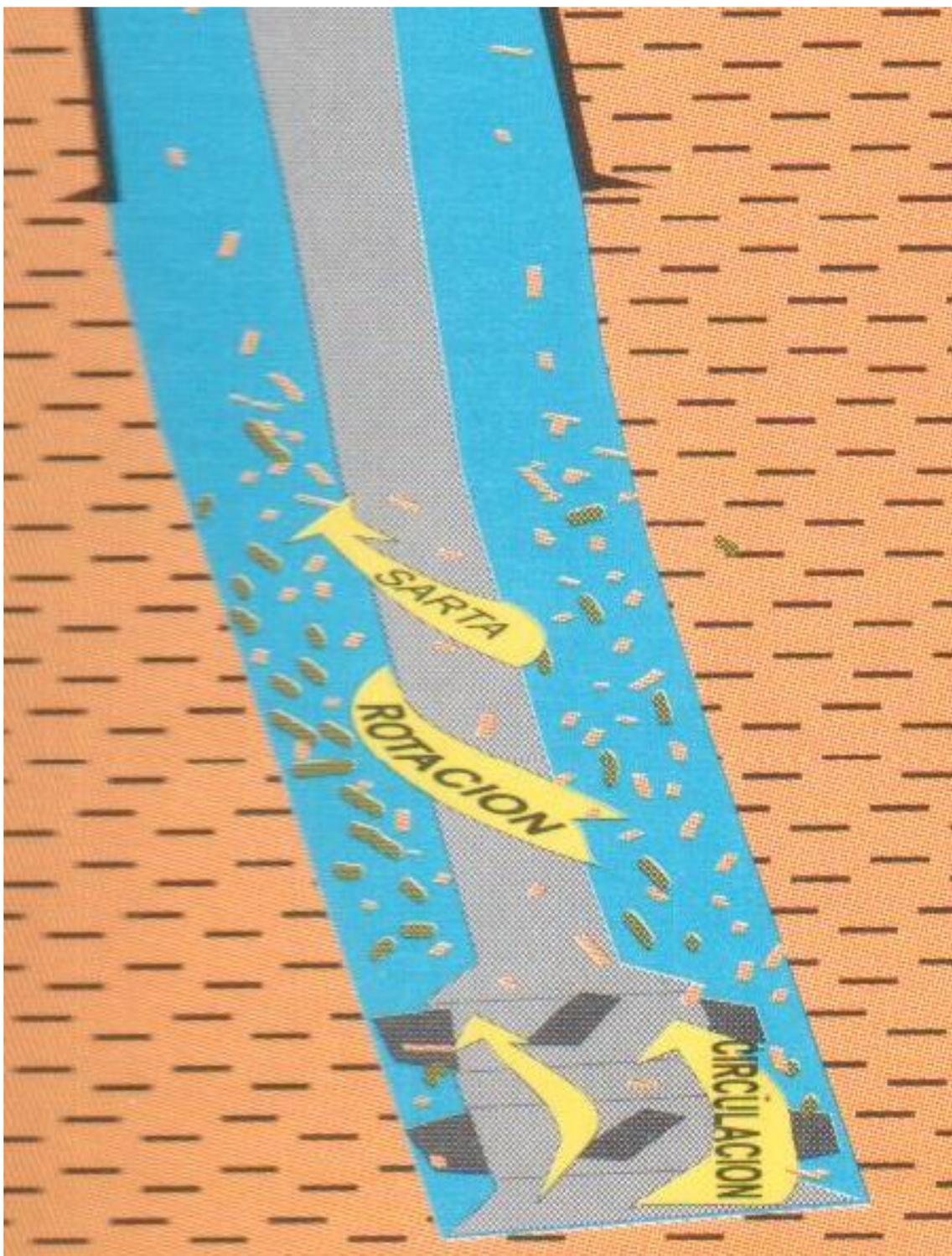


Figura 11. Corte transversal de generación de los Cortes durante la Perforación  
Tomada de (SURE - Wellsite Learning Manual, 1997)

En superficie los fluidos de perforación son enviados a una centrifuga para separarlos aún más, el lodo recuperado es nuevamente recirculado al sistema

para volverse a usar y los demás materiales sobrantes son enviados a disposición con los rípios de perforación.



Figura 12. Cortes de perforación generados y receptados en las zarandas superficiales

El proceso de perforación continua por diferentes etapas o diámetros diferentes hasta llegar a los objetivos propuestos de producción en fondo, cada sección se cubre y cementa con tuberías de revestimiento hasta que finalmente se lo completa con equipo para producir y se entrega el pozo al departamento de producción.

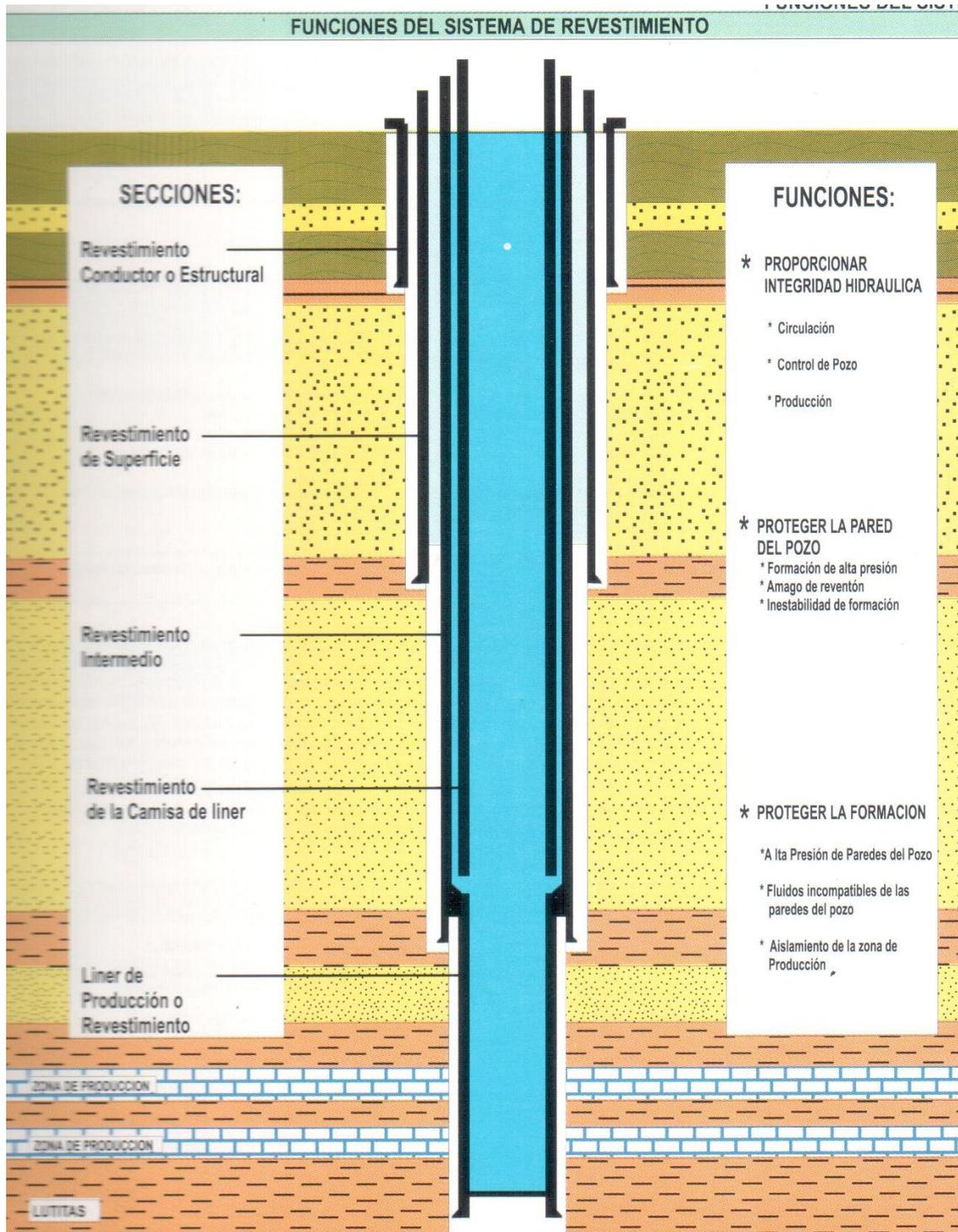


Figura 13. Vista transversal de un pozo con las tuberías de revestimiento  
Tomada de (SURE - Wellsite Learning Manual, 1997)

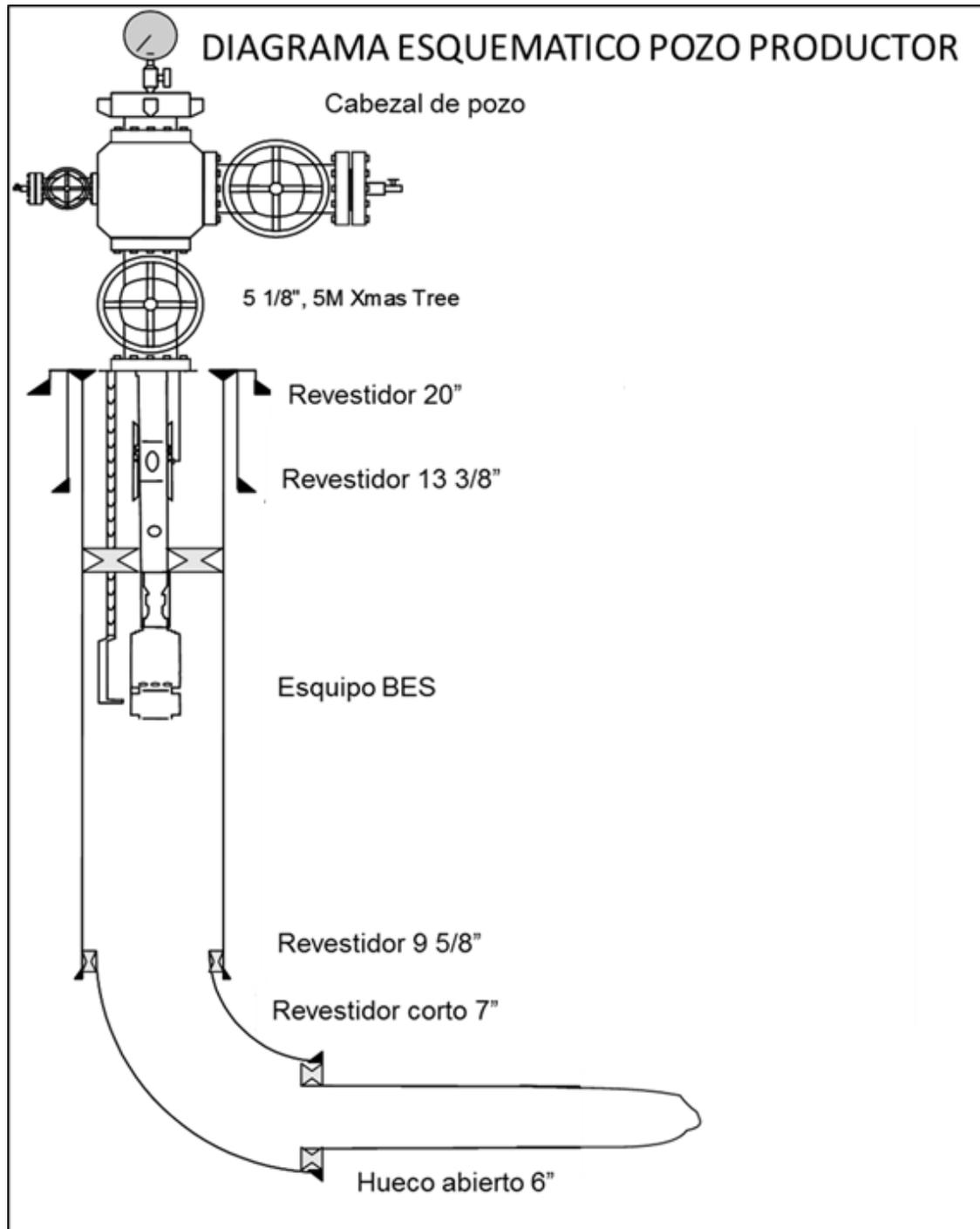


Figura 14. Diagrama típico de un pozo terminado horizontal en el Oriente Ecuatoriano  
Adaptada de (Zupan T, 1999)

### **2.1.1. Fluidos de Perforación**

Un fluido de perforación, es cualquier fluido que se circula y bombea desde superficie hacia el fondo del pozo a través de la tubería, este fluido regresa a superficie a través del anular (espacio entre el hueco y la tubería).

Los fluidos de perforación deben satisfacer las siguientes necesidades:

- Mantener suspendidos los sólidos que salen del hueco y removerlos a superficie.
- Controlar la presión hidráulica del hueco y dar estabilidad al mismo.
- Lubricar y enfriar la tubería.
- Transmitir energía al fondo del pozo.
- Minimizar el impacto ambiental.

La función más crítica del lodo de perforación es minimizar la concentración de cortes cerca de la broca ya que se puede taponar y crear problemas muy serios (ASME Shale Shaker Committee, 2011).

Los fluidos base aceite son usados y preferidos, en vez de los lodos base agua, cuando hay problemas más serios que se quieren evitar y que los lodos base agua no los pueden solucionar. Entre estas soluciones se pueden mencionar: estabilidad termal en pozos de alta temperatura, estabilidad del hueco en zonas solubles donde se derrumba fácilmente, y mejor control del hueco en pozos desviados u horizontales (Orszulik, 2007).

### **2.1.2. Manejo de los Ripios de Perforación**

Actualmente existen algunos procesos y técnicas para el manejo de los ripios generados por la perforación de un pozo en el Ecuador, entre los cuales se pueden mencionar el confinamiento en superficie, biorremediación e incineración. Cabe mencionar también que la mayor parte de estos ripios generados en el Ecuador son de lodo base agua, además de que las

operaciones de perforación son por vía terrestre. Para nuestro objeto de estudio se va a enfocar a los ripios generados por lodo base aceite.

Los ripios de perforación que salen del pozo son normalmente dirigidos al equipo de control de sólidos, el cual se fundamenta en los siguientes equipos:

- 3 zarandas vibratorias tipo cascada (CM2 zaranda de movimiento circular), montadas sobre 3 zarandas vibratorias de movimiento lineal (LCM2D).
- 1 zaranda de secado LCM2D.
- 1 acondicionador de lodo LCM2D 24/3.
- 3 centrifugas (2-SC4 y 1-SC35HS).

Estos materiales son almacenados en un área de cuarentena para su tratamiento y disposición final. Cabe mencionar que las operadoras petroleras movilizan todos estos ripios de perforación generados desde la locación remota hacia las facilidades de la Contratista para su tratamiento respectivo por medio de Biorremediación.

La biorremediación es una técnica de bioingeniería blanda para limpiar tierras y suelos contaminados usando microbios, plantas y lombrices de tierra. También es una técnica para estabilizar las tierras erosionadas y prevenir la erosión del suelo. Los microbios se adaptan para prosperar en "condiciones adversas" de alta acidez, alcalinidad, toxicidad y alta temperatura. Bajo condiciones favorables de crecimiento, los microbios pueden biodegradar y biotransformar las complejas sustancias químicas orgánicas peligrosas en otras más sencillas e inocuas. Los ambientalistas están viendo microbios como levaduras, bacterias, algas, diatomeas y actinomicetos como "nanofábricas eco-amigables" para la remediación de metales (Sinha, Valani, & Sinha, 2010).

### **2.1.3. Logística de los Rípios de Perforación**

Todo proceso de perforación genera rípios de perforación en cualquier ambiente o ubicación geográfica donde se estén desarrollando las operaciones de exploración y explotación de crudo o gas.

Estas actividades se las dividen en dos subcategorías costa dentro (onshore) y costa afuera (offshore), la primera están relacionadas con todas las actividades hidrocarburíferas en tierra, pudiendo ser en localizaciones urbanas, sub-urbanas, remotas o de difícil acceso. La segunda subcategoría se relacionan con todas las actividades hidrocarburíferas en mar, el más claro ejemplo son las plataformas petroleras de alta mar.

En base a esta clasificación, y dependiendo de las facilidades de acceso a la locación, las operaciones logísticas para las actividades de perforación se las puede clasificar en terrestres, aéreas y marítimas.

En locaciones remotas, donde no hay carreteras y zonas protegidas, el taladro y los equipos son transportados por helicóptero, estos son más usados en junglas y áreas montañosas de difícil acceso (Devereux, 2012).

En el caso concreto de las operadoras petroleras en Ecuador, donde no hay carreteras hacia la locación, las operaciones son aéreas para las actividades de perforación, por lo tanto, toda la logística relacionada con los rípios de perforación, tales como almacenamiento, tratamiento y disposición final son necesariamente por medio de helicóptero.

### **2.1.4. La técnica 5WH1**

La técnica de las 5WH1 es una poderosa herramienta creada por Toyoda Sakichi, para la marca de vehículos "Toyota" para sus metodologías de producción masiva, la que consiste, por medio de Causa-Efecto en el análisis

de un problema al repetir las sencillas preguntas ¿Por qué? ¿Dónde? ¿Cómo? ¿Cuándo? ¿Quién? y ¿cómo? (Morales I, 2013).

La técnica 5WH1 es una metodología de análisis empresarial que consiste en contestar seis preguntas básicas: qué (WHAT), por qué (WHY), cuándo (WHEN), dónde (WHERE), quién (WHO) y como (HOW). Creada por Lasswell (1979), esta regla puede considerarse como una lista de comprobación mediante la cual es posible generar estrategias para implementar una mejora (Cabrera Rafael, 2012).

Creada por Lasswell (1979), esta regla puede considerarse como una lista de comprobación mediante la cual es posible generar estrategias para implementar una mejora (Trias et al., 2009).

Mediante una serie de preguntas que se aplicarán al proceso de manejo de los rios de perforación que maneja actualmente las operadoras petroleras en Ecuador, se verificará la viabilidad del proceso actual y/o se justificará la implementación de otro sistema alternativo que se pudiera aplicar.

#### **2.1.5. Desorción Térmica**

De acuerdo a las condiciones del problema propuesto, operaciones de perforación heli-transportables, locación remota y mínimo impacto ambiental, el sistema de tratamiento de rios de perforación que más se podría ajustar es por medio de desorción térmica.

Según la Organización para la Protección del Medio Ambiente “La desorción térmica es una técnica innovadora para tratar la tierra contaminada con desechos peligrosos calentándola a una temperatura de 90°C a 540°C a fin de que los contaminantes con un punto de ebullición bajo se vaporicen (se conviertan en gases) y, por consiguiente, se separen de la tierra” (EPA, 1996).

“Desorción Térmica” es el nombre para describir el proceso donde el suelo contaminado es expuesto a alta temperatura para evaporar el contaminante. El contaminante es recolectado para ser reciclado o destruido, dependiendo del valor del residuo. Este proceso se obtiene por varios métodos:

- Desorción Térmica Indirecta (ITD): la cual aplica calor al material contaminado aislando la llama del material. El calor se aplica hasta que el suelo exceda una temperatura mayor que la del punto de ebullición del contaminante. El vapor del contaminante es luego condensado o destruido térmicamente.
- Desorción Térmica Directa (DTD): este proceso aplica calor y llamas directamente al suelo contaminado. Esto destruye una porción de los compuestos volátiles; y después el resto es destruido térmicamente en una unidad de oxidación.
- Desorción Térmica a Alta Temperatura (HTTD): en esta tecnología los materiales contaminados son calentados a una temperatura que oscila entre 320 y 560°C (600 a 1,000°F). La HTTD es frecuentemente usada en combinación con incineración, solidificación/estabilización, o declorinación, dependiendo de las condiciones específicas del sitio. La tecnología ha comprobado que puede producir un nivel de concentración final del contaminante, por debajo de 5mg/kg.
- Desorción Térmica a Baja Temperatura (LTTD): en esta tecnología los materiales contaminados son calentados a una temperatura que oscila entre los 90 y 320°C (200 a 600°F). Esta tecnología ha sido comprobada exitosamente para remediación de todo tipo de suelos contaminados con hidrocarburos. El suelo descontaminado retiene sus propiedades físicas, aún a pesar de que haya sido tratado a las más altas temperaturas de la LTTD; lo cual le permite al suelo retener la habilidad de soportar actividad biológica futura.

Sin embargo, el objetivo global de cada tipo de unidad es darle tratamiento al suelo contaminado a un nivel satisfactorio a los reglamentos de las agencias estatales, para que el material tratado pueda disponérselo en el terreno de la locación o pueda ser dispuesto en un terreno aparte de la locación. Los niveles del tratamiento, temperatura, tiempo de residencia, etc., varían dependiendo del tipo de contaminante, así como de los reglamentos estatales requeridos.

Las unidades de desorción térmica indirecta son buenas para procesar materiales con alto contenido de hidrocarburos (>5% por volumen), puesto que este combustible es recuperado y no es quemado durante el proceso.

### **3. EVALUACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL EN LAS EMPRESAS REFERENTE AL PROBLEMA PLANTEADO**

#### **3.1. Datos para analizar (Aplicación de Herramienta de Diagnóstico)**

Las empresas operadoras que están perforando pozos, con logística heli-transportable, están actualmente utilizando Bio remediación para el tratamiento de los rípios generados durante la perforación de pozos altamente desviados u horizontales. Para efecto de este análisis se va a tomar datos de 3 pozos horizontales perforados en los años 2009 a 2011, que se los definirán como Pozos Horizontal 1, Horizontal 2 y Horizontal 3. La logística de estas actividades de perforación y completación fue por medio de helicóptero, ya que no existen vías de acceso a la locación de los pozos por vía terrestre.

Actualmente algunas de estas empresas operadoras están tratando de incrementar sus actividades de perforación en el país, pero por diferentes situaciones (política y económica a nivel nacional e internacional) no se han podido ejecutarlas y por lo tanto se las han postergado en varias ocasiones, adicionalmente cabe mencionar que algunas de estas empresas están negociando la construcción de la carretera hacia las facilidades de los pozos, estimándose operativa totalmente en el 2017-2018. Con este antecedente, estas compañías podrían planificar los próximos pozos a perforarse por medio de logística terrestre en un futuro cercano.

Lastimosamente se debe mencionar que a la creación y ampliación de la carretera hacia los pozos se está generando un gran impacto ambiental, como nuevos asentamientos de poblaciones en la vía, tala de árboles, y desplazamientos de especies naturales que viven en el ecosistema amazónico.

Previo a la disposición de los rípios de perforación, estos son tratados en la unidad de Control de Sólidos, donde se recupera el fluido base aceite para su reutilización en el proceso de perforación, de acuerdo a los resultados finales

de las Contratistas, el porcentaje de recuperación es de 75%, mientras que el 25% restante se pierde en los rípios de perforación.

Los rípios de perforación generados durante las operaciones son dispuestos en una piscina temporal de cemento, luego con una pala mecánica son transportados y almacenados en unos tanques especiales herméticos llamados "cutting box". Posteriormente son transportados por helicóptero desde la locación remota campo hacia las Facilidades de Proceso (CPF). En este punto los rípios de perforación, debidamente asegurados y sellados son ubicados y dispuestos en plataformas terrestres para su posterior envío a las facilidades de la Contratista, en este caso a Cayambe, Ecuador.

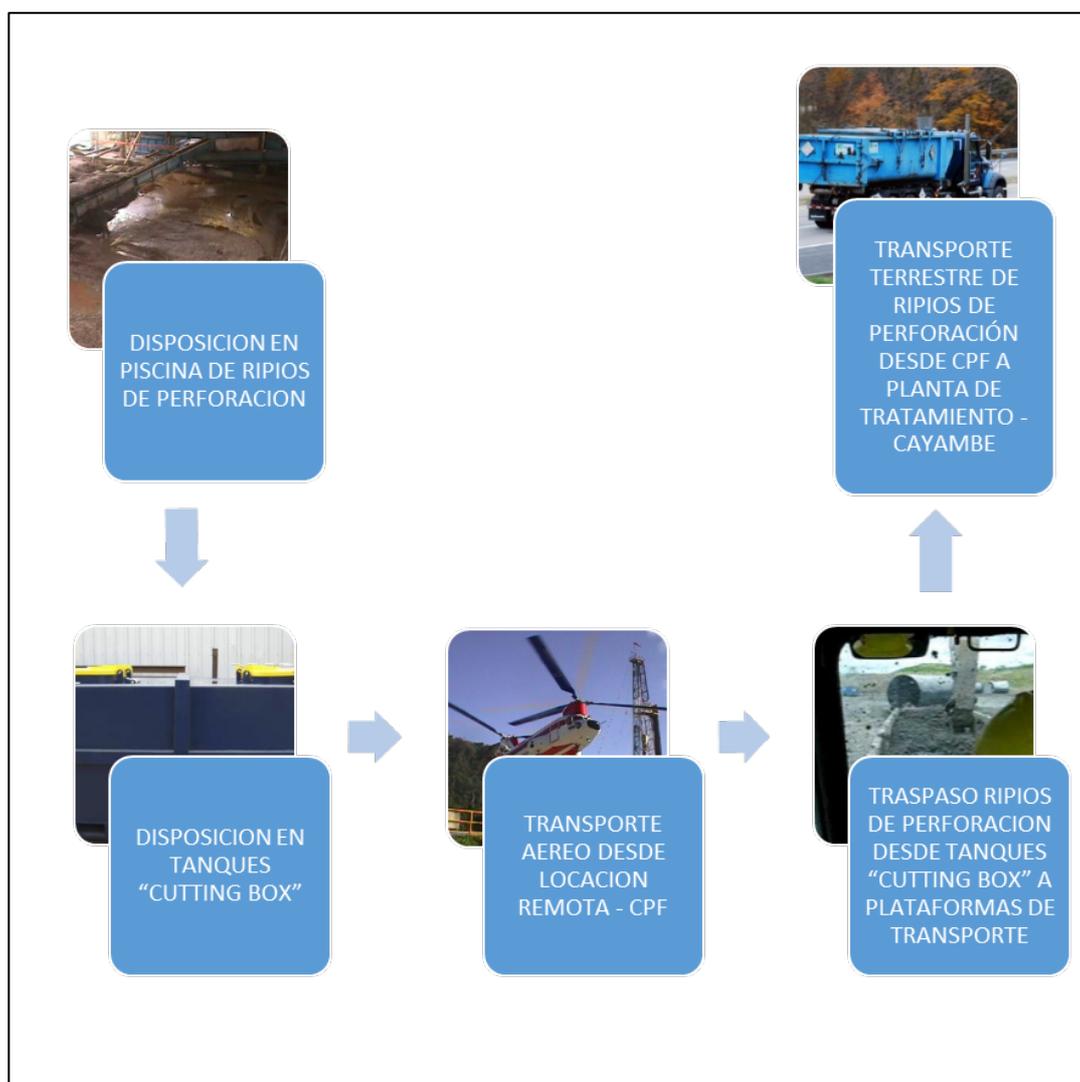


Figura 15. Diagrama de procesos para el manejo de los Rípios de Perforación desde su disposición inicial hasta el proceso de Biorremediación

### **3.1.1. Proceso de Biorremediación**

Las empresas petroleras que tienen operaciones logísticas en sus actividades de perforación en Ecuador, y que usan lodo base aceite, normalmente trabajan con Contratistas que le provisionen servicios de Biorremediación para los rípios de perforación generados en las operaciones de los pozos Horizontal 1, 2 y 3.

Este proceso de Biorremediación se basa en la técnica de lavado de suelos, que es una técnica de descontaminación ex situ en la que se extrae el suelo para ser tratado en instalaciones específicas en las que se eliminan los compuestos peligrosos que contenga mediante procesos químicos y físicos.

El procedimiento consiste básicamente en el empleo de una disolución de lavado a base de agua y aditivos químicos y un proceso mecánico de separación de finos, luego de lo cual se ejecuta el proceso de biorremediación el mismo que consiste en utilizar microorganismos (bacterias) para eliminar las sustancias químicas dañinas (petróleo). Esas condiciones permiten que las bacterias crezcan y se multipliquen, y asimilen más sustancias químicas.

Cuando las condiciones no son las adecuadas, las bacterias crecen muy despacio o mueren, o incluso pueden crear sustancias químicas más dañinas. Si las condiciones del área no son las adecuadas, se intenta mejorarlas, mediante bombeo de aire al interior del suelo, así como nutrientes u otras sustancias, como la melaza.

El procedimiento que se sigue es el siguiente:



Figura 16. Subprocesos de Biorremediación  
Tomada de (Muñoz & Jara, 2012)

### 3.1.1.1. Recepción

Durante todo el período de trabajo, la movilización del material residual especial procedente de las locaciones de los pozos, fue efectuado por una compañía transportista con amplia experiencia en logística de productos en el área petrolera, bajo el asesoramiento y supervisión de la Contratista encargada de la Biorremediación. Para el efecto se utilizaron unidades de transporte cuyas plataformas de carga han sido auditadas por personal de la Contratista, haciendo hincapié en la seguridad exigida para el caso, es así que las plataformas utilizadas en la mayoría de los viajes son de máximo tres años. El material líquido fue transportado en unos tanques especiales “Cutting Box” para de esta manera minimizar el riesgo de algún accidente, dichos contenedores son de material resistente a la corrosión y/o degradación por efectos del material residual, de cierre hermético, y dispuestos al interior de una carcasa de malla electro-soldada de varillas que los hacen manejables.

Durante el traslado de los productos especiales desde el campo hasta las instalaciones del Centro de Remediación Ambiental (CRA), fue un vehículo custodio resguardando el producto en caso de existir cualquier novedad en el viaje.

Todo el producto que fue recolectado de los pozos fue colocado en Estaciones de Remediación Ambiental (ERA), esta Contratista contaba con 5 ERAS, las cuales estaban ubicadas en el Centro de Remediación Ambiental ubicado en el kilómetro 37 ½ vía Quito - Cayambe en el sector de Otoncito sobre la cota de los 2668 m de altura en las coordenadas 17M 808026.94 E y 9998982.34 S, como se indica en el siguiente gráfico:



Figura 17. Ubicación de Facilidades de Tratamiento de la Contratista para Ripios Base Aceite Tomada de (Muñoz & Jara, 2012)

A continuación se detalla la capacidad en m<sup>3</sup> de cada una de las estaciones de remediación:

Tabla 1.  
Capacidades de las Estaciones de Remediación

SITIO	CAPACIDAD [m <sup>3</sup> ]
ERA 1	2116,5
ERA 3	873,6
ERA 4	1260
ERA 5	2875,5
ERA 6	5737,5

Tomada de (Muñoz & Jara, 2012)

### 3.1.1.2. Características del Contaminante

Los residuos a tratar provenientes de los pozos y las facilidades de las operadoras, corresponden principalmente a residuos de recortes de perforación de pozos petroleros en base aceite, lodos del separador API y Cárcamos, lodos de tanque de almacenamiento de hidrocarburos, lodos de la limpieza de los haces de los Intercambiadores de calor, Lodos de la separación de aceite agua, suelos contaminados. Entre las características y propiedades de los residuos a tratar mediante el proceso de lavado de suelos y biorremediación, están las siguientes:

- **Densidad:** Se determina pesando en una balanza un volumen conocido de lodo. La escala de la balanza (Baroid) da directamente el valor de la densidad del lodo. La densidad de los lodos puede variar desde poco más de la unidad hasta 1,2 aproximadamente.
- **Viscosidad:** Es la resistencia interna de un fluido a circular, la viscosidad del lodo suele oscilar entre 40 y 45 segundos, preferentemente alrededor de 38 (la viscosidad Marsh es aproximadamente de 26s). La medida de la viscosidad debe realizarse con lodo recién agitado.
- **pH:** Las condiciones de equilibrio químico de un lodo marcan la estabilidad de sus características. En general, un lodo es estable cuando su pH está

comprendido entre 7 y 9,5, aproximadamente, precipitando fuera de este intervalo. Para corregir y mantener el pH dentro de los límites adecuados se pueden utilizar diferentes productos.

- **Contenido de arena:** Un lodo en buenas condiciones debe presentar un contenido en fracciones arenosas prácticamente nulo (inferior al 2-3%).
- **Aditivos:** la mayor cantidad de lodos contienen aditivos para el proceso de perforación para conseguir características y propiedades del lodo que se aproximen a las consideradas experimentalmente como más óptimas. Los aditivos que generalmente se utilizan son:
  - Sulfato bórico o baritina ( $\text{SO}_4\text{Ba}$ ): es utilizada para aumentar la densidad del lodo.
  - Carboximetil-celulosa (CMC): permite mantener una costra fina y reduce el agua de filtrado. Los hay de alta y baja viscosidad, que transmiten estas propiedades al lodo tratado.
  - Lignosulfonatos: sales complejas de lignina sirve para aligerar la viscosidad del lodo y reduciendo su agua de filtrado.
  - Sosa cáustica: se utiliza para evitar fermentaciones y para corregir el pH cuando está bajo.
  - Bicarbonato sódico: indica para subir el pH del lodo, principalmente cuando se ha contaminado por cemento.
  - Polifosfatos: son sales sódicas que actúan enérgicamente como fluidificantes o dispersantes.

### 3.1.1.3. Tecnología Aplicada

En las facilidades de la Contratista, para la remediación ambiental se utiliza dos tipos de tecnologías para la descontaminación del producto:

- **Lavado de Suelos:** esta tecnología se aplica mediante la utilización de bombas a presión que contienen una mezcla de agua con un surfactante

llamado “biodem” para retirar el crudo impregnado en el suelo, de tal manera que el suelo quede libre de la mancha de crudo a fin de separar las fases del mismo en crudo, aceite, agua. Este proceso se realiza en productos que contengan más de 100000 TPH (Presencia de hidrocarburos totales).



Figura 18. Lavado de suelos  
Tomada de (Muñoz & Jara, 2012)

- **Biorremediación:** una vez que el suelo esté libre de crudo, se procede a eliminar los TPH presentes en el mismo con la utilización de bacterias que son alimentadas mediante materia orgánica. Cuando los TPH son  $\leq 80000$  se empieza con el proceso de biorremediación.



Figura 19. Biorremediación  
Tomada de (Muñoz & Jara, 2012)

Dentro del proceso de biorremediación se realiza las siguientes actividades:

- Colocación de material absorbente (material de la zona cascajo).
- Vertido de materia orgánica (productos degradables).



Figura 20. Mezclado con el material absorbente y orgánico  
Tomada de (Muñoz & Jara, 2012)

- Optimización microbiológica dado que es necesario que las bacterias cuenten con parámetros aceptables de nutrientes, humedad y aireación, se forman biopilas para dar un clima apto para la eliminación de TPH aun presentes.



Figura 21. Mezclado con la pala mecánica  
Tomada de (Muñoz & Jara, 2012)

- Aireación: una vez que el suelo haya llegado a los 7000 TPH se procede a realizar el proceso de aireación y volteo del mismo a fin de darle oxigenación y conseguir niveles óptimos de TPH y finalmente se procede al período de reposo.



Figura 22. Aireación del suelo  
Tomada de (Muñoz & Jara, 2012)

#### **3.1.1.4. Métodos Analíticos**

Una vez que el producto se encuentra en los diferentes procesos se toman muestras de suelo de las diferentes ERAS y en el laboratorio que cuenta la Contratista se realiza análisis para verificar la cantidad de Hidrocarburos Totales presentes y controlar el proceso, la adición de sustancias orgánicas, reproducción de bacterias, entre otros aspectos básicos para el proceso de biorremediación.

#### **3.1.1.5. Muestreo**

Una vez que se ha determinado los datos comparativos o datos bases, se envía analizar a Laboratorios acreditados por la operadora (Hazwat únicamente posee un laboratorio de carácter operativo) para verificar que los datos tomados in situ corresponde a datos reales para realizar un cambio de proceso o dar de alta el producto, es decir ocuparle para fines industriales con el contenido de TPH estipulados en la normativa vigente.

#### **3.1.1.6. Regulación Legal**

Una vez que se ha realizado el análisis se compara para verificar que cumpla el suelo con los estándares estipulados en la Tabla 6: Límites permisibles para la identificación y remediación de suelos contaminados en todas las fases de la industria hidrocarburíferas, incluidas las estaciones de servicios del Decreto Ejecutivo 1215: Reglamento Sustitutivo del Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador.

Es importante mencionar que durante todo el proceso que se ejecuta para remediar el producto contaminado existe una pérdida de material de aproximadamente el 10% del total del producto recibido, este es compensado mediante la adición material degradable.

Tabla 2.  
Límites permisibles para la identificación y remediación de suelos contaminados

Parámetro	Expresado en	Unidad <sup>1)</sup>	Uso Agrícola <sup>2)</sup>	Uso Industrial <sup>3)</sup>	Ecosistemas sensibles <sup>4)</sup>
Hidrocarburos totales	TPH	mg/kg	<2500	<4000	<1000
Hidrocarburos aromáticos policíclicos	C	mg/kg	<2	<5	<1
Cadmio	Cd	mg/kg	<2	<10	<1
Níquel	Ni	mg/kg	<50	<100	<40
Plomo	Pb	mg/kg	<100	<500	<80

<sup>1)</sup> Expresado en base de sustancia seca (gravimétrico, 105°C, 24 horas).

<sup>2)</sup> Valores límites permisibles enfocados en la protección de suelos y cultivos.

<sup>3)</sup> Valores límites permisibles para sitios de uso de industrial (construcciones, etc).

<sup>4)</sup> Valores límites permisibles para la protección de ecosistemas sensibles tales como Patrimonio Nacional de Áreas Naturales y otros identificados en el correspondiente Estudio Ambiental.

Tomada de (Constitución de la República del Ecuador, 1998)

### 3.2. Análisis de Datos o descripción de causa y efecto

Una vez detallado el proceso de biorremediación utilizado en los pozos H-1, H-2 y H-3 por la operadora petrolera, se obtuvieron los siguientes datos generales relacionados al tratamiento de los rípios de perforación.

Tabla 3.  
Resultados obtenidos del tratamiento de los rípios por Biorremediación para los 3 pozos horizontales

TRATAMIENTO DE RIPIOS DE PERFORACIÓN POR BIORREMEDIACIÓN										
Pozos	Tiempo Operativos Perforación (días)	Tiempo Operativo + 4 meses	Vol. de lodo total base aceite usado (bbbls)	Volumen recuperado 75% (bbbls)	Vol. perdido en rípios de perforación (bbbls)	Rípios totales generados (Kg)	Costos logísticos relacionados a rípios de perforación (\$)	Costos tratamiento rípios de perforación (\$)	Costo Total del Pozo (\$)	Costo logístico relacionado al manejo rípios de perforación / Costo Total del pozo (%)
H-1	87		9,425	7,069	2,356	1,743,374	1,262,610	530,145	28,438,891	4.44
H-2	80		8,504	6,378	2,126	1,573,005	1,176,909	480,936	27,056,470	4.35
H-3	65		7,952	5,964	1,988	1,432,192	994,871	438,879	23,113,025	4.30
Total	232	352	25,881	19,411	6,470	4,748,570	3,434,391	1,449,960	78,608,385	

Se puede evidenciar, de acuerdo a los datos, que por cada pozo el costo logístico relacionado para el manejo, disposición y almacenamiento de los rípios de perforación, está alrededor del 4.3 – 4.4% respecto al costo total de cada pozo, además de que el tratamiento y manejo de los rípios de perforación

toma un tiempo total de 352 días, sabiendo que las operaciones de perforación tomaron solamente un tiempo de 232 días, en otras palabras se excedió un tiempo de alrededor de 4 meses adicionales para el tratamiento de los ripios de perforación.

Con esta información se puede evidenciar que se está utilizando mucho más recurso (tiempo, helicóptero, personal) para el manejo, disposición y transporte de los ripios de perforación hacia las facilidades de la contratista, haciendo más costosas las operaciones de perforación para la operadora.

En base a estos antecedentes y basándose en las hipótesis de este trabajo de investigación, cuyo principal objetivo es presentar un proceso alterno, mejor en términos económicos y medio ambientales, por lo que se ha generado el siguiente diagrama de Ishikawa, donde se formula la pregunta como el EFECTO que se quiere analizar “*¿Porque es costoso el manejo y disposición de los ripios generados por la perforación?*”. Posteriormente se generan las CAUSAS para identificarlas y analizarlas más adelante.

En este diagrama de Ishikawa se agruparon las CAUSAS afines por categorías, clasificándolas por Método, Equipos, Materiales y Mano de Obra.

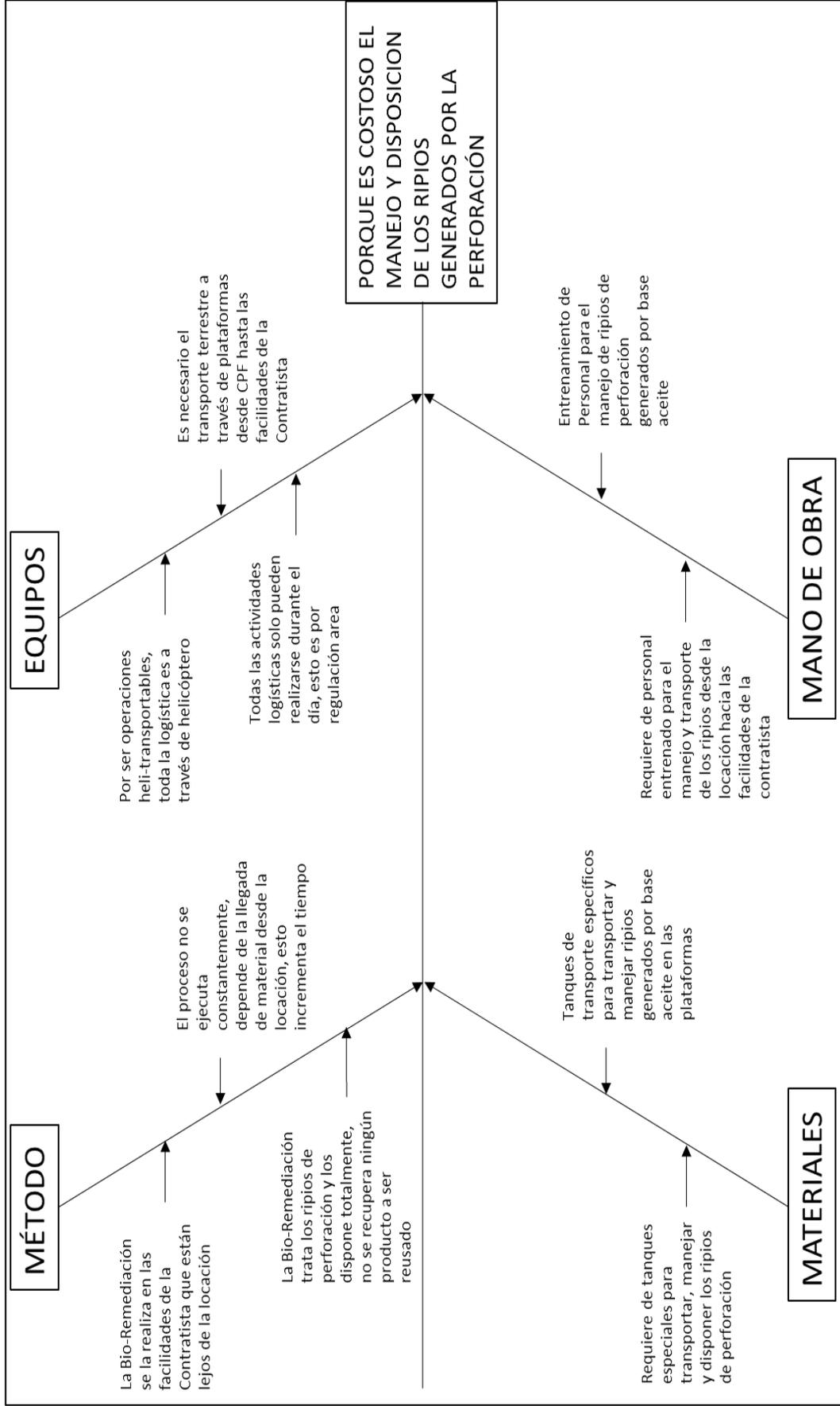


Figura 23. Diagrama de Causa Efecto aplicado al proceso de Biorremediación para el Tratamiento de los riipos de perforación

Adicionalmente también se adjunta las tablas de los rípios de perforación tratados mediante Biorremediación por la Contratista mensualmente (2009-2011), y otros materiales generados durante otras actividades relacionadas con la operadora (limpieza de tanques, producción, suelos contaminados, etc.).

Tabla 4.  
Cantidades Mensuales de Tratamiento por Biorremediación por la Contratista – año 2009

FECHA DE INGRESO	RECORTE DE PERFORACIÓN DE POZOS PETROLEROS EN LOS CUALES SE USAN LODOS BASE ACEITE	LODOS DEL SEPARADOR API Y CARCAMOS	LODOS DE TANQUE DE ALMAC. DE HIDROCARBUROS	LODOS DE LA LIMPIEZA DE LOS HACES DE LOS INTERCAM. DE CALOR	LODOS DE LA SEPARACIÓN DE ACEITE AGUA	SUELOS CONTAMINADOS	TOTAL
	DP-FE-11.1.1	DP-FE-11.1.2	DP-FE-11.1.3	DP-FE-11.1.4	DP-FE-11.1.6	DP-NE-22	
ENERO	0	70	0	0	0	1100	1170
FEBRERO	0	0	0	0	0	13402	13402
MARZO	0	2781	0	4518	0	0	7299
ABRIL	0	0	0	0	0	0	0
MAYO	0	1029	1147	0	828	0	3004
JUNIO	0	0	0	0	0	4327	4327
JULIO	17953	0	0	21472	0	97	39522
AGOSTO	65407,6	2952	0	0	1790	1530	71679,6
SEPTIEMBRE	15283	0	0	0	1567	1658	18508
OCTUBRE	0	0	121434	0	1300	600	123334
NOVIEMBRE	134362,1	0	62200	0	0	36033,5	232595,6
DICIEMBRE	98202,8	0	4720,5	2045,5	12166,95	5436	122571,75
<b>TOTAL</b>	<b>331208,5</b>	<b>6832</b>	<b>189501,5</b>	<b>28035,5</b>	<b>17651,95</b>	<b>64183,5</b>	<b>637412,95</b>

Tomada de (Muñoz & Jara, 2012)

Tabla 5.  
 Cantidades Mensuales de Tratamiento por Biorremediación por la Contratista – año 2010

FECHA DE INGRESO	RECORTE DE PERFORACIÓN DE POZOS PETROLEROS EN LOS CUALES SE USAN LODOS BASE ACEITE	LODOS DEL SEPARADOR API Y CARCAMOS	LODOS DE TANQUE DE ALMAC. DE HIDROCARBUROS	LODOS DE LA LIMPIEZA DE LOS HACES DE LOS INTERCA. DE CALOR	LODOS DE LA SEPARACIÓN DE ACEITE AGUA	SUELOS CONTAMINADOS	TOTAL
	DP-FE-11.1.1	DP-FE-11.1.2	DP-FE-11.1.3	DP-FE-11.1.4	DP-FE-11.1.6	DP-NE-22	
ENERO	24768	0	0	0	7700	1100	<b>33568</b>
FEBRERO	56817,8	0	0	0	17083	168	<b>74068,8</b>
MARZO	394185,26	3792	0	0	0	0	<b>397977,26</b>
ABRIL	477298,78	6176	0	0	6300	18405	<b>508179,78</b>
MAYO	214834,22	4957	377	0	6191	15	<b>226374,22</b>
JUNIO	155221,7	0	0	16076	4395	2700	<b>178392,7</b>
JULIO	358177,9	31200	0	0	1560	5500	<b>396437,9</b>
AGOSTO	552879,7	2200	15054	0	0	2400	<b>572533,7</b>
SEPTIEMBRE	318585,6	0	81121	0	7	3521,5	<b>403235,1</b>
OCTUBRE	309904	0	27793	0	5009	1200	<b>343906</b>
NOVIEMBRE	123087,55	11620	0	0	10620	3390	<b>148717,55</b>
DICIEMBRE	42522,18	15	202	0	19963	12	<b>62714,18</b>
<b>TOTAL</b>	<b>3028282,69</b>	<b>59960</b>	<b>124547</b>	<b>16076</b>	<b>78828</b>	<b>38411,5</b>	<b>3346105,19</b>

Tomada de (Muñoz & Jara, 2012)

Tabla 6.  
 Cantidades Mensuales de Tratamiento por Biorremediación por la Contratista – año 2011

FECHA DE INGRESO	RECORTE DE PERFORACIÓN DE POZOS PETROLEROS EN LOS CUALES SE USAN LODOS BASE ACEITE	LODOS DEL SEPARADOR API Y CÁRCAMOS	LODOS DE TANQUE DE ALMAC. DE HIDROCARBUROS	LODOS DE LA LIMPIEZA DE LOS HACES DE LOS INTERCAM DE CALOR	LODOS DE LA SEPARACIÓN DE ACEITE AGUA	SUELOS CONTAMINADOS	TOTAL
	DP-FE-11.1.1	DP-FE-11.1.2	DP-FE-11.1.3	DP-FE-11.1.4	DP-FE-11.1.6	DP-NE-22	
ENERO	104315	7200	3561,5	21600	0	887,5	<b>137564</b>
FEBRERO	94732	0	0	14000	3200	4100	<b>116032</b>
MARZO	37272	0	20204	0	1490	25672	<b>84638</b>
ABRIL	23317	50	2700	0	0	1230	<b>27297</b>
MAYO	435064	0	171	0	0	14812	<b>450047</b>
JUNIO	525681	0	0	0	12100	1250	<b>539031</b>
JULIO	159533	44	392	0	0	14	<b>159983</b>
AGOSTO	193626	14828	0	0	0	0	<b>208454</b>
SEPTIEMBRE	22689	400	12750	0	2550	2206	<b>40595</b>
OCTUBRE	24772	0	0	0	7700	1850	<b>34322</b>
NOVIEMBRE	159533	44	392	0	0	14	<b>159983</b>
DICIEMBRE	0	0	0	6000	0	9000	<b>15000</b>
<b>TOTAL</b>	<b>1780534</b>	<b>22566</b>	<b>40170,5</b>	<b>41600</b>	<b>27040</b>	<b>61035,5</b>	<b>1972946</b>

Tomada de (Muñoz & Jara, 2012)

Como se puede apreciar el tratamiento por biorremediación de los rípios de perforación generados por los pozos Horizontal 1, Horizontal 2 y Horizontal 3 concluyó en Diciembre de 2011, mientras que la perforación finalizó en Julio de 2011, es decir 4 meses más adicionales fueron requeridos para el tratamiento de los rípios de perforación por el método actual.

## 4. DISEÑO DE LA PROPUESTA

### 4.1. Propuesta de Mejora

La propuesta de mejora considera la implementación de equipos de proceso para Desorción Térmica Indirecta a Baja Temperatura (LTITD) en la locación, como elemento adicional al proceso de perforación de los pozos ya mencionados anteriormente. La inclusión de estos equipos adicionales permitirá manejar los rípios generados durante la perforación de los pozos y tratarlos en el sitio.

Esta tecnología se la usa actualmente en la industria petrolera a nivel mundial en otros países, se pueden citar los siguientes casos históricos:

- Implementación de Facilidades en la región de Asia Pacífico - Indonesia (Halliburton, 2007).
- Manejo de desechos y rípios en el noroeste de Kazakstán (Halliburton, 2010).
- Campo Azadegan en Irán (Nabi Bidhendi & Rashedi H., 2016).

Para el caso concreto de las empresas petroleras que operan en el Oriente Ecuatoriano, el método que mejor se ajusta es el de Desorción Térmica a Baja Temperatura (LTITD) en base a las experiencias internacionales en el tratamiento de rípios de perforación con otras operadoras y Contratistas.

El proceso de Desorción Térmica Indirecta a Baja Temperatura-LTITD es una técnica innovadora para separar contaminantes orgánicos volátiles y semi-volátiles, mercurio, cianuro, etc., desde una matriz de desperdicios que generalmente son suelos, cieno, sedimentos y revoques o costras de lodo. Los contaminantes son volatilizados en un cámara térmica de desorción a una temperatura que oscila entre 150 a 650°C (300 – 1,200°F) y luego son recogidos por medio de una salida de gas. Los gases son entonces tratados en

un sistema de control de emisiones, condensados y agrupados para su recuperación subsiguiente, y/o tratamiento/disposición fuera del sitio.

Actualmente existen compañías a nivel mundial que disponen de esta tecnología, lastimosamente en el Ecuador no se la está usando, esto es debido a que hay un desconocimiento o poca información para la aplicación de nuevas tecnologías a nivel local considerándolas muchas veces como muy costosas sin el respectivo análisis o beneficio técnico, económico y ambiental.

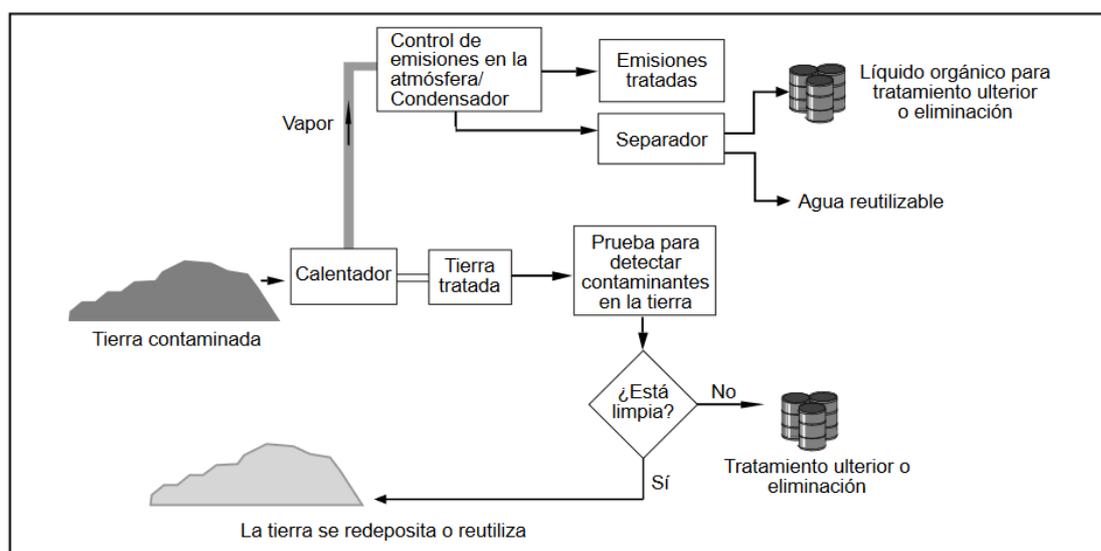


Figura 24. Proceso de Desorción Térmica  
Tomada de (EPA, 1996)

Para efecto de esta propuesta se tomará como referencia a una Contratista Internacional que dispone de esta tecnología. Esta empresa describe a su tecnología de desorción térmica como de Separación de Fase Térmica (TPS); y al conjunto de equipos que usa para el proceso los denomina unidad TPS, las cuales se clasifican en las unidades TPS-1 y TPS-2; y normalmente están compuestas de:

- Cámara de Extracción.
- Templador.
- Separador Gas-Líquido.

- Condensador.
- Deshidratador de agua.
- Carbón de Absorción.
- Separador Agua-Aceite.
- Enfriador.
- Filtro de Arena.
- Carbón de Absorción.

Elementos cuya disposición puede ser observada en la figura 27.



Figura 25. Unidad de Separador de Fase Térmica - TPS-1

#### 4.1.1. Descripción del Proceso

El proceso que realiza la unidad TPS no es un proceso de incineración o de quemado directo, más bien utiliza calentamiento indirecto principalmente para separar el agua y los contaminantes hidrocarburos desde el suelo, cieno y otros materiales sólidos. En ningún momento el gas de la llama del combustible

llega a tener contacto con el suelo contaminado que está siendo tratado, tal como se puede apreciar en la figura siguiente.

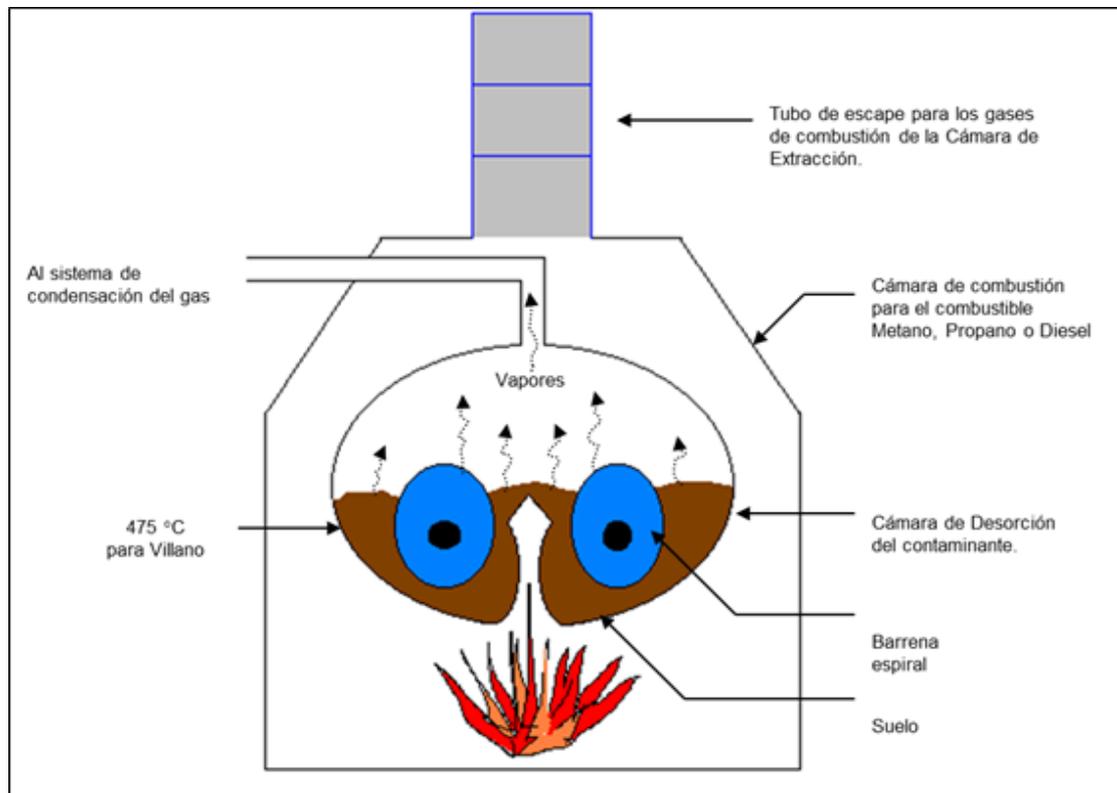


Figura 26. Corte Transversal de la Cámara de Extracción de la unidad TPS  
Tomada de (Barba V, 1999)

En la misma figura, también se puede apreciar que el calor generado durante la combustión del metano o propano en la caja de fuego, es indirectamente transferido por conducción a través de las paredes de la cámara de extracción del sólido al suelo contaminado. Por consiguiente, el correspondiente incremento en la temperatura del suelo resulta en la volatilización de los contaminantes hidrocarburos.

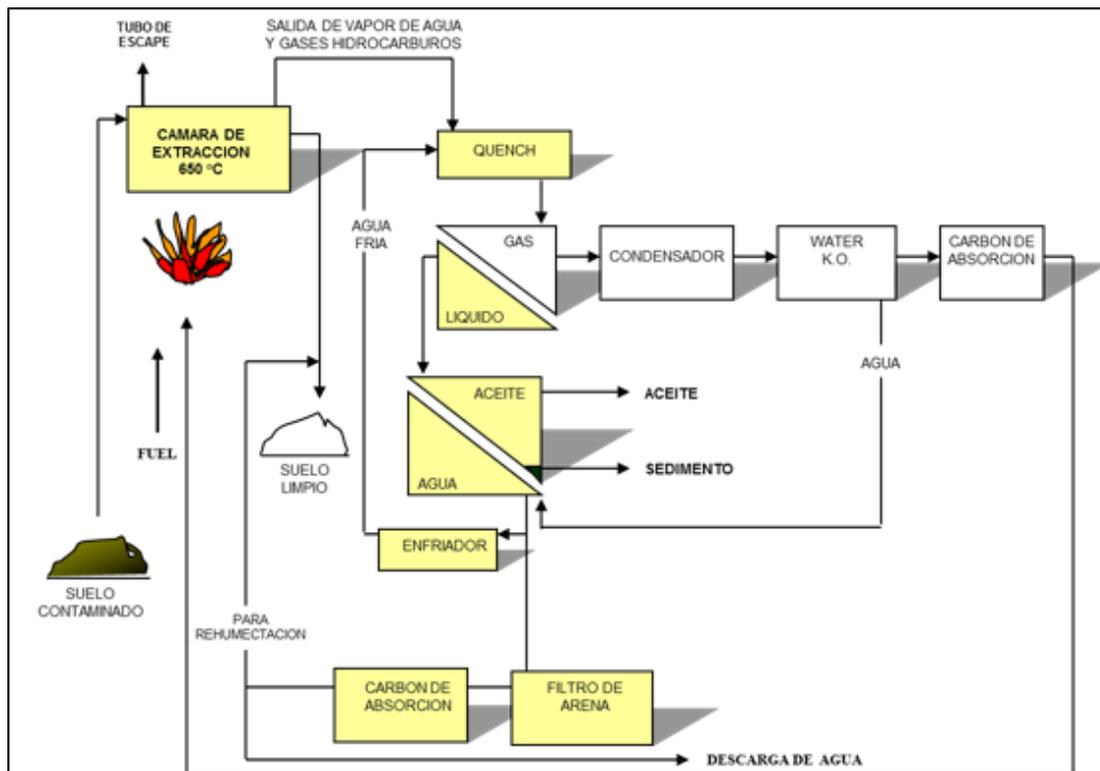


Figura 27. Diagrama de flujo de la unidad del separador de fase térmica  
Tomada de (Barba V, 1999)

El calentamiento indirecto del material contaminado en un ambiente limitado de oxígeno elimina la producción y emisión de productos orgánicos de incompleta combustión (especialmente orgánicos clorinados), partículas y gases ácidos.

Este proceso de separación de fase térmica es un proceso de dos etapas. La primera etapa tal como previamente fue explicada, consiste en el uso de calentamiento indirecto para volatilizar los contaminantes hidrocarburos desde el material de carga. Esta fase dentro del proceso se denomina fase de separación.

La segunda etapa consiste en el enfriamiento y condensación de los gases producto del proceso de desorción. Del condensado luego se separan el agua, aceite y fracciones sólidas. Los gases son primero enfriados en un proceso directo de templado y más tarde son enfriados a unos pocos grados sobre la temperatura ambiente por un condensador. A esas temperaturas los contaminantes son completamente condensados y capturados en la corriente

del líquido. Los contaminantes orgánicos separados en el sistema de condensación son recuperados de conformidad con la filosofía de reducción de los desperdicios para lo cual el equipo fue diseñado.

Tal como se puede apreciar en el anterior esquema, el proceso puede ser visto como que está compuesto de cinco distintos sub-sistemas que son los siguientes:

- **Manipulación de la carga de alimentación:**

La carga de material contaminado que previamente ha sido tamizada para remover guijarros y escombros, es depositada dentro de una tolva de alimentación por un cargador frontal. El material desde la tolva es alimentado a un rompedor de grumos, por un transportador mecánico horizontal de banda. Esta banda descarga el material dentro del rompedor de grumos, el cual a su vez descarga el suelo fragmentado dentro de un transportador mecánico inclinado para descargarlo a la cámara de extracción.

- **Cámara de Extracción/Unidad Térmica:**

El material a tratarse es descargado desde el transportador mecánico inclinado a una pequeña tolva diseñada para dirigir igualmente el material a dos tornillos o taladros rotarios paralelos de válvulas de aire. Del paso a través de la esclusa de aire, el material desciende dentro de la cámara de extracción. Los dos tornillos o taladros espirales paralelos, cada uno de 12.2 m de largo, mueven el material a través del piso de la cámara de extracción para repartir el calor desde las zonas de los quemadores dentro de la caja de fuego.

La carga permanece físicamente separada del sistema de combustión por el caparazón de acero de la cámara de extracción. La caja de fuego deriva su calor por la combustión del gas propano o gas natural en una serie de quemadores o mecheros. La modulación de los mecheros es ejecutada para que las temperaturas del suelo sean elevadas sobre la temperatura de control,

al punto que los hidrocarburos y el agua en el suelo sean volatilizados. El proceso de salida del gas es alimentado a un sistema de tratamiento de gas.

- **Manipulación del suelo tratado:**

Los dos taladros de la cámara de extracción dirigen el suelo tratado a un taladro de descarga. El material procesado, caliente, sale del taladro de descarga a través de una paleta de rueda de la válvula de aire, resistente al calor, la cual dirige el material tratado a un amasador. El agua es rociada dentro del amasador, enfriando el suelo y previniendo las fugas de polvo. Alguna partícula originada en el proceso de remojado es removida en un pequeño depurador de gas.

El suelo enfriado y mojado es descargado y recolectado en una pila para remoción; y luego por medio de un cargador frontal es llevado al área de cuarentena del suelo tratado.

- **Tratamiento del gas:**

El vapor de agua e hidrocarburos gaseosos originados en la cámara de extracción son sujetos a seis estados secuenciales de tratamiento, consistentes en un contacto directo del agua de rociado en el sistema de templado, una serie de deshidratadores mecánicos para gas, eliminadores de niebla, filtros y lechos de carbón de absorción. La descarga final de gas es retornada a la caja de fuego para combustible supletorio.

El movimiento de los productos gaseosos a través del sistema desde la cámara de extracción a los componentes de condensación, es asegurada por el uso de un ventilador de succión de desplazamiento positivo inducido.

- **Agua/Tratamiento del condensado:**

Relativamente una gran cantidad de agua es recirculada a través del taladro del sistema de templado, para llevar a cabo el enfriamiento de la corriente de gas. Este volumen de agua recirculada al mismo tiempo con productos

condensados de la fase gaseosa son dirigidos a través de una cámara de asentamiento de los sedimentos y un separador trifásico aceite/agua/sólidos. Los hidrocarburos líquidos y sedimentos son extraídos para análisis, almacenamiento y posible reciclaje.

La temperatura del agua restante es disminuida en un enfriador de ventilador de aleta, previo a su recirculación a la parte posterior del taladro del sistema de templado. Una entrada de fluido de este flujo de agua es removido y tratado por filtros de arena y carbón activado de absorción, previo a su reutilización para remojo y enfriado de la descarga del suelo tratado.

Los ripios secos ya descargados son llevados a un área denominada “área de cuarentena”, donde se les realiza las pruebas de TPH (Presencia de Hidrocarburos Totales) y límites permisibles según la norma requerida.

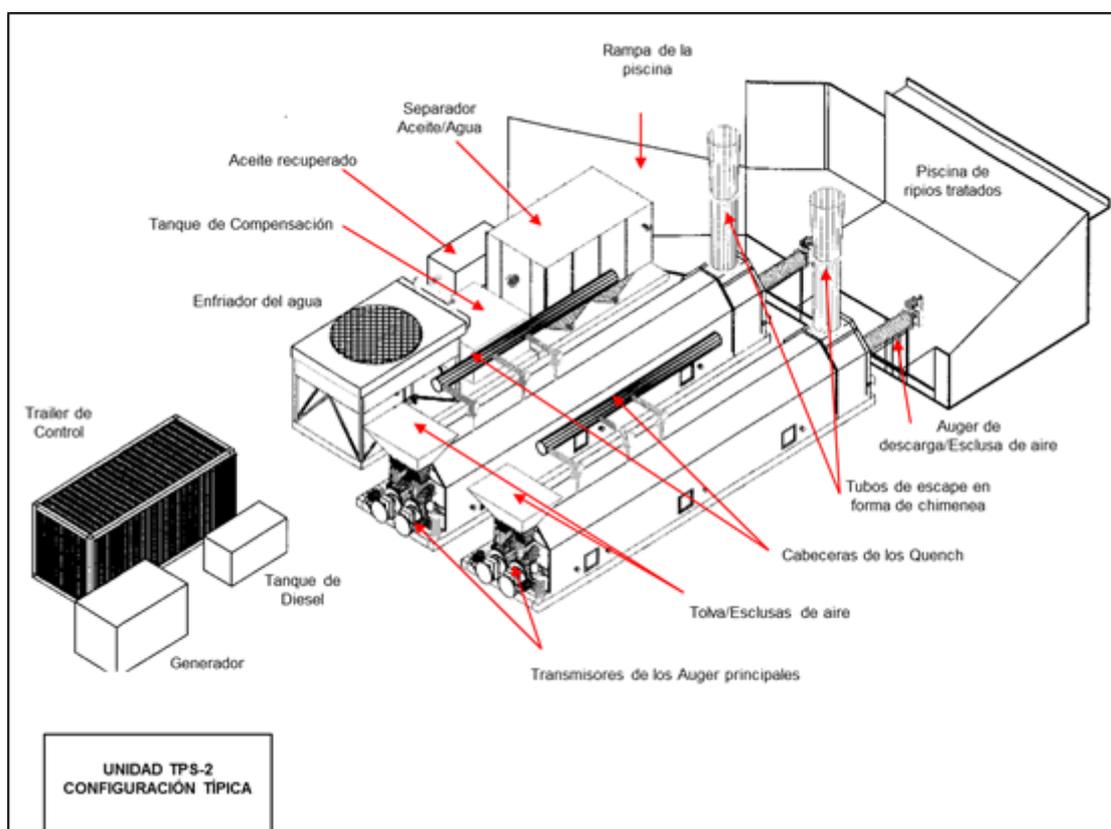


Figura 28. Esquema de los principales componentes de la unidad TPS-2  
Tomada de (Contrato No. C-97-AOI-0013 - Servicios de Remediación de Cortes por Desorción Térmica, 1997)

#### 4.1.2. Regulación Legal

El proceso de desorción térmica se aplica en algunos países a nivel internacional, y cumple con los estándares internacionales de cada país respectivamente. Además se tomó como estándar internacional el modelo el Reglamento “Louisiana Statewide Order 29-B” de Estados Unidos, donde se aplicaba esta tecnología en los últimos años y establece los parámetros de los materiales recuperados mediante la misma. A continuación se presentan las especificaciones para el criterio de las tierras tratadas:

Tabla 7.  
*Parámetros de manejo para tierras reusables*

PARAMETRO DE PRUEBA	CRITERIO PARA TIERRAS ALTAS	CRITERIO PARA PANTANOS
pH	6 - 9	6 – 9
Arsénico	10 mg/l	10 ppm
Contenido total de Bario	40,000 mg/l	20,000 ppm
Cadmio	10 mg/l	10 ppm
Cromo	500 mg/l	500 ppm
Plomo	500 mg/l	500 ppm
Mercurio	10 mg/l	10 ppm
Selenio	10 mg/l	10 ppm
Plata	200 mg/l	200 mg/l
Zinc	500 mg/l	500 mg/l
Aceite & Grasa	< 1% por peso seco	< 1% por peso seco
Conductividad eléctrica	< 4 mmhos/cm	< 8 mmhos/cm
Relación de absorción de sodio	< 12	< 14
Porcentaje intercambiable de sodio	< 15%	< 25%
Cloruros	NA (No Aplicable)	NA

Tomada de (*Louisiana Statewide Order 29-B*, 2010)

Como se puede apreciar en la tabla anterior, los parámetros de control para tierras reusables de procesos de perforación, en este caso rípios tratados son bastante estrictos, dependiendo del ambiente.

En Ecuador rige actualmente el Decreto Ejecutivo 1215: Reglamento Sustitutivo del Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador, donde se definen los parámetros de cumplimiento para la disposición de los rípios de perforación en superficie.

Tabla 8.  
*Límites permisibles de lixiviados para la disposición final de lodos y ripios de perforación en superficie*

<b>a) SIN impermeabilización de la base</b>			
<b>Parámetros</b>	<b>Expresado en</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor límite permisible</b>
Potencial Hidrógeno	pH	---	6<pH<9
Conductividad eléctrica	CE	μS/cm	4,000
Hidrocarburos Totales	TPH	mg/l	<1
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)	C	mg/l	<0.003
Cadmio	Cd	mg/l	<0.05
Cromo Total	Cr	mg/l	<1.0
Vanadio	V	mg/l	<0.2
Bario	Ba	mg/l	<5
<b>b) CON impermeabilización de la base</b>			
<b>Parámetros</b>	<b>Expresado en</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor límite permisible</b>
Potencial Hidrógeno	pH	---	4<pH<12
Conductividad eléctrica	CE	μS/cm	8,000
Hidrocarburos Totales	TPH	mg/l	<50
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)	C	mg/l	<0.005
Cadmio	Cd	mg/l	<0.5
Cromo Total	Cr	mg/l	<10.0
Vanadio	V	mg/l	<2
Bario	Ba	mg/l	<10

Tomada de (Constitución de la República del Ecuador, 1998)

#### 4.2. Aplicación de Herramienta Técnica

Luego de la Elaboración del Diagrama de Ishikawa “Causas y Efecto” aplicado en el proceso de Biorremediación, que es el proceso actual que utilizan algunas operadoras petroleras en Ecuador, con lodo base aceite y logística heli-transportable, para el tratamiento de los ripios de perforación, se mencionaron las CAUSAS que generan altos costos, y están básicamente relacionadas a la logística del manejo y almacenamiento para disposición final de los ripios de perforación, también se evidenció el problema al incrementarse el tiempo de operaciones para tratarlos y enviarlos fuera de la locación hacia las facilidades de la Contratista.

En base a esta información, se desea aplicar la técnica de las 5WH1 para indagar las causas y buscar soluciones. Para esto se tomara en cuenta las siguientes consideraciones: Reducir costos, causar el mínimo impacto ambiental y reducir tiempos en el manejo de los ripios de perforación.

La metodología a aplicarse es la 5WH1, la cual como se indicó anteriormente consiste en formularse las siguientes 5 preguntas sencillas: Qué? Porqué? Quién? Donde? Cuando? Como?.

El objetivo es simplificar a través de estas preguntas, combinándolas, reorganizándolas y eliminarlas para obtener conceptos de mejora y eficacia al final del análisis (Kato & Smalley, 2013).

Formulando la pregunta Porque? cinco veces previene a que se termine la investigación antes de alcanzar la causa del problema, el objetivo principal de mejora. Si no se lleva a cabo este proceso sistemáticamente se podría llegar a otra conclusión que realmente no ayude a eliminar el problema (Shingo & Dillon, 1989).

Con estos antecedentes se formulan las preguntas y se obtienen las siguientes tablas:

Tabla 9.

*Técnica 5WH1 aplicada al actual sistema de tratamiento de rípios de perforación*

QUE?	PORQUE?	QUIEN?	DONDE?	CUANDO?	COMO?
Reducir Costos Altos relacionados al Manejo y Tratamiento de los Rípios de Perforación	Los costos de logística y transporte son caros, haciendo elevados los costos del pozo	Gerente de Operaciones/Gerente de Perforación o Proyectos	En el área de manejo de rípios de perforación y control de solidos	Fase de Planificación y Contratación	Realizar un estudio de factibilidad técnica y económica para la implementación de este proceso de Desorción Térmica.
					Analizar la factibilidad de recuperar todo el material base aceite para ser reusado
Minimizar impacto ambiental al ecosistema que está involucrado en el tratamiento de rípios de perforación	Un daño ambiental puede ser muy dañino para las especies naturales del lugar, así como a las poblaciones cercanas	Gerente de Perforación/ Supervisores de Campo/Gerente de Medio Ambiente	Durante el almacenamiento, disposición, tratamiento y disposición final de los rípios de perforación	Durante la ejecución de las actividades de perforación y terminación de actividades del pozo	Tratamiento de los rípios de perforación en locación, disposición y movilización de los mismos a diferentes puntos puede generar alto impacto ambiental
					Verificación de cumplimiento de los parámetros ambientales de los cortes de perforación para su disposición y tratamiento final

Reducir el tiempo de manejo y tratamiento de los rípios de perforación	Mayor tiempo de operaciones de perforación, mayor costo logístico	Gerente de Operaciones/Gerente de Perforación o Proyectos	Durante el almacenamiento, disposición, tratamiento y disposición final de los rípios de perforación	Fase de planificación, ejecución y terminación del proyecto de perforación	Implementar un proceso alternativo al actual, donde se puedan tratar y disponer los rípios de perforación en la locación
					Implementación de carretera para las operaciones logísticas

En la primera pregunta el objetivo es reducir costos relacionados al tratamiento de los rípios de perforación, donde se puede identificar que los costos logísticos por el tratamiento, fuera de la locación de los pozos (ex-situ), por medio de biorremediación es el problema. Para solucionar esto se plantea el método alternativo que es desorción térmica, un método que funciona dentro de la locación de los pozos (in-situ), además de que nos permite recuperar los fluidos de perforación en un 99%.

En la segunda pregunta el objetivo es minimizar el impacto ambiental durante las operaciones del manejo de rípios, donde se puede identificar que el problema de manejo y movilización de rípios a través de helicóptero es el principal problema. Para solucionar esto se recomienda un tratamiento dentro de la locación (in-situ), que pueda manejar estos materiales y tratarlos de manera óptima y adecuada.

En la tercera pregunta el objetivo es reducir los tiempos no productivos que se pierden durante la movilización de los rípios fuera de la locación, como principal problema se identifica al manejo y transporte de los rípios a través de helicóptero, para tratarlos fuera de la locación (ex-situ), además de que depende de las condiciones climáticas y de la disponibilidad, los vuelos solo se pueden hacer durante el día por disposiciones aéreas legales.

En resumen se puede concluir que la aplicación de la técnica de las 5WH1 es una herramienta sencilla y ayudó a identificar las causas que generan inconvenientes con el método actual de biorremediación, para el tratamiento de

ripos de perforación, así como da la posibilidad de proponer el método alternativo de desorción térmica como solución.

### **4.3. Diseño Implementación/Plan de Acción**

#### **4.3.1. Bases del Diseño**

Los factores clave, que deberán ser considerados en la evaluación de un sistema de desorción térmica indirecta para una aplicación específica, son:

- **Factores específicos del material contaminado:** incluyen la masa de material contaminado a ser tratada, tipos y concentraciones de los contaminantes orgánicos, tipos y concentraciones de metales, contenido orgánico total del material contaminado de carga, contenido de humedad en el material de carga, características geotécnicas del suelo (tamaño del grano, distribución y plasticidad), pH del material de carga y concentración de sulfuros y cloros totales.
- **Factores específicos del sitio:** incluye el monto de espacio disponible para ajustes del equipo del proceso, estacionamiento del material de carga, acopio de los sólidos tratados; y la disponibilidad de facilidades adecuadas tales como agua, electricidad, alcantarillas y combustible.
- **Factores reglamentarios:** incluye los estándares de los sólidos tratados, estándares de control de la emisión del gas de la chimenea y estándares de descarga del agua de desperdicios.

#### **4.3.2. Diseño y Selección del Equipo**

La desorción térmica debe ser capaz de proveer a los sólidos la temperatura y tiempo de residencia necesarios para el apropiado criterio de limpieza. El combustible, electricidad y proceso de las fuentes de agua, deben ser factibles. Adicionalmente, los residuos del proceso deben ser manejados mediante un tratamiento ambientalmente sano, o mediante métodos de disposición. La

selección de los procesos necesarios para que el sistema alcance los objetivos de diseño debe ser hechos previo al diseño detallado del equipo del proceso. La selección del proceso envuelve consideraciones de ingeniería y consideraciones reglamentarias. Las consideraciones de ingeniería básica incluyen transferencia de calor y masa, seguridad de funcionamiento y rendimiento del equipo, así como costos estimados de operación. Estas consideraciones están relacionadas entre sí, y por tanto las selecciones en una área necesariamente limitan la flexibilidad en otras áreas. Una vez que los procesos necesarios para alcanzar los objetivos de diseño han sido seleccionados, entonces el diseño detallado del equipo del proceso puede comenzar.

#### 4.3.3. Distribución General del Sitio

Previo al inicio de las operaciones, una zona de exclusión, de descontaminación, de tráfico de equipo y personal, y demás ítems para el manejo del sitio, deben ser elaborados. La zona de exclusión será usada para transferencia del material, acopio, manejo de los materiales y tratamiento. El área aproximada requerida para los cuatro remolques de la unidad TPS, tanques, remolques de soporte, pilas de acopio del material preparado y tratado, es aproximadamente 35 m por 75 m. La siguiente figura presenta una distribución esquemática de la unidad TPS-1 para un sitio genérico:

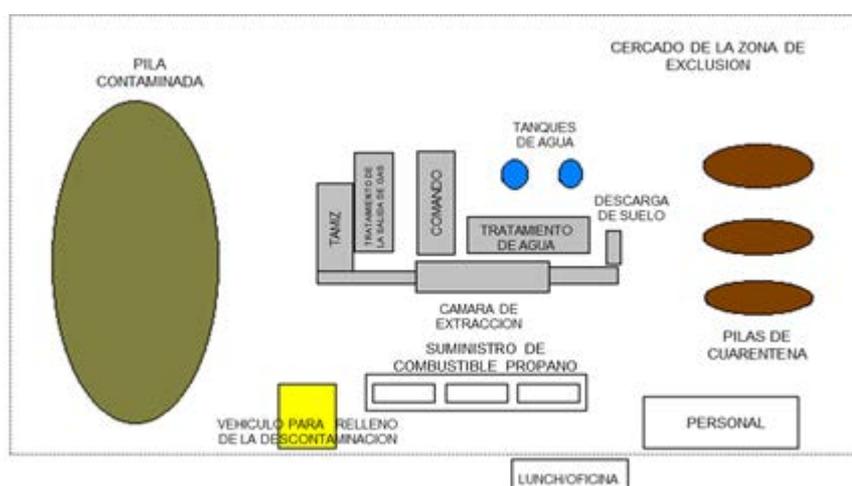


Figura 29. Esquema de distribución en un sitio genérico de una unidad TPS-1 Tomada de (Contrato No. C-97-AOI-0013 - Servicios de Remediación de Cortes por Desorción Térmica, 1997)

En el caso de la locación remota analizada, como ya se dispone de la piscina de ripios, el espacio para pilas de cuarentenas, se necesita solamente un espacio de 20 m por 20 m, como se puede ver en el diagrama siguiente del campo:

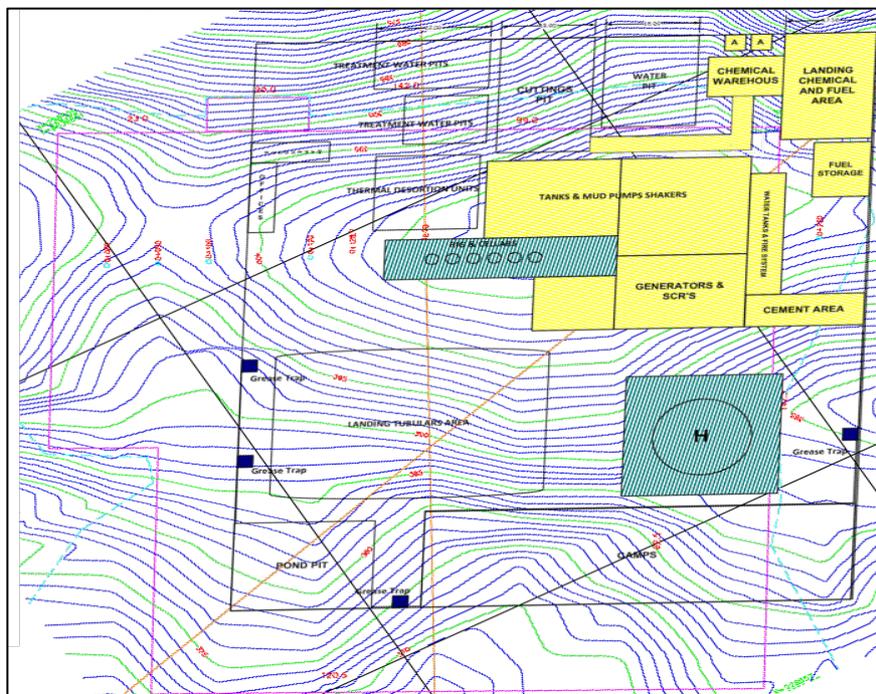


Figura 30. Vista de mapa de la locación de los pozos  
Tomada de (Mapa Topográfico de Planta del campo bloque 10, 2001)

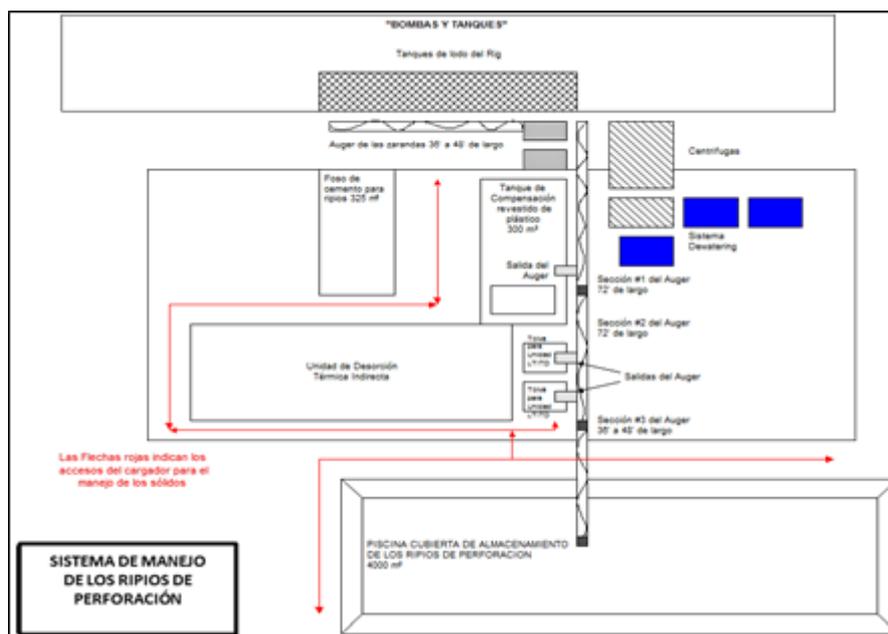


Figura 31. Esquema del sistema de manejo de los ripios de perforación genérico  
Tomada de (Contrato No. C-97-AOI-0013 - Servicios de Remediación de Cortes por Desorción Térmica, 1997)

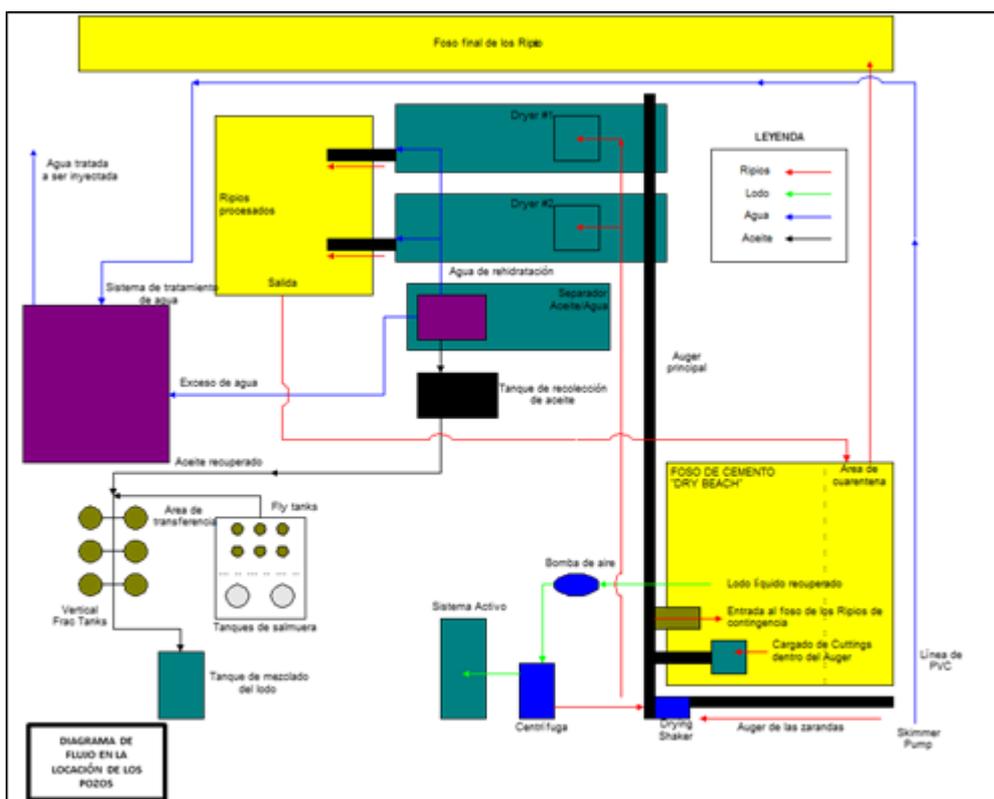


Figura 32. Esquema del diagrama de flujo del campo  
Tomada de (Contrato No. C-97-AOI-0013 - Servicios de Remediación de Cortes por Desorción Térmica, 1997)

#### 4.3.4. Tiempos y Términos Contractuales

Actualmente no se está usando esta tecnología en Ecuador, por lo cual es importante primero hacer el análisis de factibilidad con un tiempo aproximado de 1 año al menos para la planificación de la perforación de los pozos.

Dependiendo de la Contratista, una vez ya nombrado el ganador del Servicio de TPS normalmente se necesita un periodo de notificación de al menos 6 a 8 meses para importar estas unidades al país.

Es mucho mejor si se considera la opción de escoger a la Contratista que sea la misma que provea servicios de Lodos de Perforación y Control de Sólidos, ya que el Servicio se vuelve mucho más ágil y eficiente, teniendo mayor experiencia en esta área.

#### 4.4. Discusión de Resultados

La implementación de este proceso alterno en locación, llamado Desorción Térmica, simplificaría las operaciones logísticas de transporte y almacenamiento de los rípios de perforación, ya que se los trataría en locación y se podría recuperar el lodo base aceite, para volver a usarlo durante las operaciones de perforación.

Adicionalmente otro beneficio económico, ambiental y de tiempo, es la reducción de las operaciones logísticas relacionadas para el manejo, disposición y tratamiento de los rípios de perforación. A continuación se detallan los volúmenes recuperados y los costos asociados a este proceso alterno.

Tabla 10.

*Resultados obtenidos del tratamiento de los rípios por Desorción Térmica para los 3 pozos horizontales*

TRATAMIENTO DE RÍPIOS DE PERFORACIÓN POR DESORCIÓN TÉRMICA										
Pozos	Tiempo Operativos Perforación (días)	Vol. de lodo total base aceite usado (bbbls)	Vol. recuperado 75% (bbbls) + 99.5% del remanente (bbbls)	Vol. perdido en rípios de perforación (bbbls)	Rípios totales generados (Kg)	Costos logísticos relacionados a rípios de perforación (\$)	Costos tratamiento rípios de perforación (\$)	Costo Total del Pozo (\$)	Costo relacionado tratamiento y manejo rípios de perforación / Costo Total del pozo (%)	Ahorro en costo de lodo por lodo recuperado (\$)
H-1	87	9,425	9,413	12	1,743,374	21,750	449,848	28,438,891	0.08	-123,200
H-2	80	8,504	8,493	11	1,573,005	20,000	416,968	27,056,470	0.07	-123,200
H-3	65	7,952	7,942	10	1,432,192	16,250	343,666	23,113,025	0.07	-123,200
Total	232	25,881	25,849	32	4,748,570	58,000	1,210,482	78,608,385		-369,600

Se puede evidenciar, de acuerdo a los datos presentados, que por cada pozo el costo logístico relacionado para el manejo, disposición y almacenamiento de los rípios de perforación, está alrededor del 0.07 – 0.08% respecto al costo total de cada pozo, además de que el tratamiento y manejo de los rípios de

perforación toma un tiempo total de 232 días. La interpretación de los datos obtenidos se puede resumir de la siguiente forma:

- Costos: Se redujeron en un 4.3% del presupuesto de cada pozo, esto en términos de millones si representa un ahorro para la empresa.
- Cuidado del medio Ambiente: Hay un menor impacto ambiental, ya que se tratan los ripios en la locación y se los dispone finalmente, cumpliendo los requerimientos legales establecidos en el Decreto Ejecutivo 1215: Reglamento Sustitutivo del Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador.
- Tiempo de disposición, manejo, tratamiento y disposición final: Los ripios de perforación fueron tratados dentro del tiempo operativo de los pozos.

Como se mencionó anteriormente en el capítulo anterior, durante el proceso de perforación se recupera hasta un 75% de los fluidos base aceite para reutilizarlo en el proceso, mediante la unidad de Control de Sólidos, mientras el 25% se pierde con la generación de los ripios de perforación.

Con este equipo el 25% restante de lodo base aceite presente en los ripios de perforación, al entrar al sistema de desorción térmica, se puede recuperar hasta el 99.5% de lodo base aceite que está humectando los ripios, de acuerdo a los resultados de las pruebas de laboratorio y a los casos históricos que se mencionaron.

El lodo construido con los fluidos recuperados que es añadido al sistema activo de lodo, sirve para continuar la perforación. Este proceso se mantendrá constante durante las operaciones de perforación.

También se debe tomar en cuenta que este proceso de desorción térmica es continuo con las operaciones de perforación, cosa que no sucedía con el proceso de biorremediación que se mantenía en espera hasta la llegada de los

ripios de perforación para su respectivo tratamiento en las facilidades de la contratista.

De acuerdo a los resultados iniciales se puede pensar que el principal problema o factor son las operaciones heli-transportables, pero al analizar un poco más en detalle se puede observar que el principal problema es el proceso del tratamiento de los rípios de perforación que involucra una gran movilización, almacenamiento y disposición final de los mismos en otra locación lejana a la inicial, en otras palabras si se puede implementar otro sistema de tratamiento de los rípios de perforación en locación podría ayudar muchísimo técnica y económicamente.

La parte logística con este método alternativo se puede apreciar en el siguiente diagrama.



Figura 33. Diagrama de procesos para el manejo de los Rípios de perforación desde su disposición inicial hasta el proceso de Desorción Térmica

## 5. ANÁLISIS COSTO – BENEFICIO

### 5.1. Inversiones

Una inversión de 105.6 M US\$ fue aprobada para este proyecto de 3 nuevos pozos denominado “Pozos Horizontales”, estos pozos se los mencionan como Horizontal 1, Horizontal 2 y Horizontal 3 y fueron planificados con operaciones heli-transportables.

Tabla 11.  
Plan de Presupuestos Pozos Horizontales – 3 pozos

Requerimientos de CAPEX para Desarrollo Fase “Pozos Horizontales”		
Tarea	K US\$	% en Total
<b>Estudios y Permisos</b>		
Estudios y Permisos (2008-Ago 2009)	2,275	2.15 %
<b>Permiso Ambiental</b>		
Permiso Ambiental	200	0.19 %
<b>Facilidades (Emparejamiento Pozos)</b>		
Facilidades	2,729	2.58 %
<b>Perforación &amp; Completación</b>		
Mob (CPF – Locación1) + Preparación	7,119	6.74 %
Perforación H-1	18,041	17.07 %
Completación H-1	2,614	2.47 %
Perforación H-2	13,537	12.81 %
Completación H-2	3,175	3.00 %
Mob (Locación1-Locación2)	4,444	4.21 %
Perforación H-3	19,726	18.67 %
Completación H-3	2,311	2.19 %
Mob (Locación2-CPF)	5,368	5.08 %
<b>Cable de Poder CPF-Locación1</b>		
Ingeniería	240	0.23 %
Adquisiciones	21,600	20.44 %
Construcción	2,160	2.04 %
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 105,538</b>	<b>100 %</b>

La tabla anterior nos muestra los detalles de cada tarea del proyecto “Pozos Horizontales”. En esta inversión que se solicitó, se incluyeron proyectos de

mejora del campamento ubicado en CPF y la mejora de la planta de seguridad de incendios de la locación.

## 5.2. Beneficios

Para poder notar los beneficios económicos es necesario hacer una comparación de los costos en general de los pozos Horizontal 1, 2 y 3 y analizar un poco más en detalle.

Se realizó un desglose de los costos de los pozos con el plan fue aprobado con operaciones heli-transportables y el tratamiento de rípios de perforación por medio de biorremediación (método actual que utilizan las operadoras en Ecuador), también se realizó un desglose de los costos de los pozos con operaciones heli-transportables con el método propuesto de desorción térmica.

Para un análisis final también se realizó un desglose de costos de los pozos, considerando una opción de vía terrestre si estuviera disponible, por medio de los dos métodos (biorremediación y desorción térmica).

Tabla 12.

*Comparación de costos por pozo – Operaciones Heli-transportables – Biorremediación vs Desorción Térmica*

	H-1		
	c/HELI		
	H-1 (H+Bio)	H-1 (H+DT)	DIFERENCIA \$
Total de Materiales	6,226,471	6,103,271	123,200
Total de Taladro	7,317,997	7,317,997	0
Total de Transporte	6,072,250	5,130,781	941,469
Total de Permisos/Seguro/Aduanas	856,993	820,033	36,960
Total de Servicios	7,965,180	7,884,883	80,297
<b>Subtotal Costo por Fase</b>	<b>28,438,891</b>	<b>27,256,965</b>	<b>1,181,926</b>

	H-2		
	c/HELI		
	H-2 (H+Bio)	H-2 (H+DT)	DIFERENCIA \$
Total de Materiales	5,866,330	5,743,130	123,200
Total de Taladro	6,894,725	6,894,725	0
Total de Transporte	5,759,343	4,903,576	855,768
Total de Permisos/Seguro/Aduanas	837,957	800,997	36,960
Total de Servicios	7,698,115	7,634,147	63,968
<b>Subtotal Costo por Fase</b>	<b>27,056,470</b>	<b>25,976,574</b>	<b>1,079,896</b>

	H-3		
	c/HELI		
	H-3 (H+Bio)	H-3 (H+DT)	DIFERENCIA \$
<b>Total de Materiales</b>	5,469,107	5,345,907	123,200
<b>Total de Taladro</b>	5,879,425	5,879,425	0
<b>Total de Transporte</b>	5,041,463	4,367,733	673,730
<b>Total de Permisos/Seguro/Aduanas</b>	410,777	376,281	34,496
<b>Total de Servicios</b>	6,312,253	6,217,041	95,212
<b>Subtotal Costo por Fase</b>	<b>23,113,025</b>	<b>22,186,386</b>	<b>926,638</b>

En el primer escenario (operaciones heli-transportables y el tratamiento de los ripsos de perforación por medio de biorremediación), los costos totales de los pozos H-1, H-2 y H-3 son 28.4 M US\$, 27.1 M US\$ y 23.1 M US\$ respectivamente.

En el segundo escenario (operaciones heli-transportables y el tratamiento de los ripsos de perforación por medio desorción térmica), los costos totales de los pozos H-1, H-2 y H-3 son 27.3 M US\$, 25.9 M US\$ y 22.2 M US\$ respectivamente.

Al comparar los dos escenarios observamos que existiría un ahorro económico de 1.2 M US\$, 1.1 M US\$ y 0.9 M US\$ para cada pozo respectivamente, si se escoge la opción de desorción térmica en operaciones heli-transportables.

Estas diferencias son debido a que se reducen drásticamente las operaciones heli-transportables para el transporte de los ripsos de perforación de la locación hacia el CPF, y a su vez a las plantas de tratamiento de los mismos por parte de la Contratista, otra diferencia es que con esta técnica se recupera parte del lodo base aceite usado durante la perforación para su reutilización

Tabla 13.

Comparación de costos por pozo – Operaciones por vía terrestre – Biorremediación vs Desorción Térmica

H-1			
c/TERRESTRE			
	H-1 (T+Bio)	H-1 (T+DT)	DIFERENCIA \$
Total de Materiales	6,216,204	6,093,004	123,200
Total de Taladro	3,794,857	3,794,857	0
Total de Transporte	444,354	508,582	(64,228)
Total de Permisos/Seguro/Aduanas	856,993	820,033	36,960
Total de Servicios	7,965,180	7,884,883	80,297
<b>Subtotal Costo por Fase</b>	<b>19,277,587</b>	<b>19,101,358</b>	<b>176,229</b>

H-2			
c/TERRESTRE			
	H-2 (T+Bio)	H-2 (T+DT)	DIFERENCIA \$
Total de Materiales	5,856,063	5,732,863	123,200
Total de Taladro	3,521,252	3,521,252	0
Total de Transporte	416,907	481,136	(64,228)
Total de Permisos/Seguro/Aduanas	837,957	800,997	36,960
Total de Servicios	7,698,115	7,634,147	63,968
<b>Subtotal Costo por Fase</b>	<b>18,330,294</b>	<b>18,170,394</b>	<b>159,900</b>

H-3			
c/TERRESTRE			
	H-3 (T+Bio)	H-3 (T+DT)	DIFERENCIA \$
Total de Materiales	5,458,840	5,335,640	123,200
Total de Taladro	2,829,237	2,829,237	0
Total de Transporte	357,623	421,851	(64,228)
Total de Permisos/Seguro/Aduanas	410,777	376,281	34,496
Total de Servicios	6,312,253	6,217,041	95,212
<b>Subtotal Costo por Fase</b>	<b>15,368,730</b>	<b>15,180,050</b>	<b>188,680</b>

En el tercer escenario (operaciones terrestres y el tratamiento de los rípios de perforación por medio de bio remediación), los costos totales de los pozos H-1, H-2 y H-3 son 19.3 M US\$, 18.3 M US\$ y 15.4 M US\$ respectivamente.

En el cuarto escenario (operaciones terrestres y el tratamiento de los rípios de perforación por medio desorción térmica), los costos totales de los pozos H-1, H-2 y H-3 son 19.1 M US\$, 18.2 M US\$ y 15.2 M US\$ respectivamente.

Al comparar los dos escenarios observamos que existiría un ahorro económico de 0.18 M US\$, 0.16 M US\$ y 0.19 M US\$ para cada pozo respectivamente, si se escoge la opción de desorción térmica en operaciones terrestres.

Estas diferencias son debido a que se reutiliza y se trata el lodo base aceite en locación durante las operaciones de perforación y no se lo transporta, por lo tanto el consumo de material para la fabricación de lodos se reduce también y optimiza el costo.

### 5.3. Cálculo Indicador Costo - Beneficio

Para el respectivo análisis económico se utilizó los valores totales de los pozos, así como los costos de CAPEX y OPEX involucrados en los mismos.

El análisis económico para este escenario fue realizado con un precio de petróleo de 34.25 \$/bbl, la empresa estimó recuperar la inversión máximo 6 años con un Tasa Interna de Retorno (TIR) de 19% vs la mínima tasa aceptable de retorno (Hurdle Rate o MARR) de 13% que maneja la empresa.

Tabla 14.  
Análisis Económico "Pozos Horizontales" – CAPEX – OPEX

Año	Base					Nuevos Pozos				
	Producción en KSTB					Producción en KSTB				
	Ventas	Combust.	Total	CAPEX	OPEX	Ventas	Combust.	Producción	CAPEX	OPEX
2009	7,377	312	7,689	11,643	63,966	-	-	-	103,263	0
2010	7,026	329	7,355	15,954	66,888	1,530	-	1,530	-	0
2011	6,746	329	7,075	1,000	64,150	1,686	-	1,686	-	750
2012	6,196	329	6,525	1,000	60,799	1,048	-	1,048	-	750
2013	5,690	329	6,019	1,000	51,821	881	-	881	-	750
2014	5,264	329	5,593	-	51,229	711	-	711	-	713
2015	4,884	329	5,213	-	50,667	626	-	626	-	677
2016	4,559	329	4,888	-	50,133	552	-	552	-	643
mar-17	1,101	66	1,167	-	12,406	128	-	128	-	153
<b>Total</b>	<b>48,843</b>	<b>2,681</b>	<b>51,524</b>	<b>30,597</b>	<b>472,059</b>	<b>7,162</b>	<b>0</b>	<b>7,162</b>	<b>103,263</b>	<b>4,436</b>

Costo de Capital	10.5%
Precio crudo (2009) \$/bbl	34.25
Variación Precio Crudo por año	-10%
Factor E&P de Contrato	
Distribución de Producción	2.3

Año	0	1	2	3	4	5	6
		2009	2010	2011	2012	2013	2014
<b>Caso Base</b>							
Producción Crudo (KSTB)		7,689	7,355	7,075	6,525	6,019	5,593
Producción Costo Crudo (K\$)		114,499	99,569	87,071	73,002	61,219	51,715
Costos CAPEX		11,643	15,954	1,000	1,000	1,000	-
Costos OPEX		63,966	66,888	64,150	60,799	51,821	51,229
<b>Caso Nuevos Pozos</b>							
Producción Crudo (KSTB)		-	1,530	1,686	1,048	881	711
Producción Costo Crudo (K\$)		-	20,712	20,749	11,725	8,961	6,574
Costos OPEX		-	-	750	750	750	713
Flujo de Caja	(103,263)	38,890	37,439	41,920	22,178	16,609	6,347
VAN	22,107	-	-	-	-	-	-
TIR (Tasa Interna de Retorno)	19%						

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. Conclusiones

La técnica 5WH1 es una técnica sencilla que se puede aplicar en cualquier proceso para identificar las causas de los problemas, en este caso para el análisis en el manejo de los rípios de perforación, nos ayudó a identificar las áreas por mejorar, posteriormente se verifico la factibilidad y aplicación del proceso alterno que se propone.

Como se pudo verificar en el análisis económico efectuado para las operaciones de perforación de pozos (con el método actual de Biorremediación y con el propuesto de desorción térmica) se aprecia un ahorro económico de aproximadamente 1 M US\$ por pozo en operaciones heli-transportables, y aproximadamente 0.2 M US\$ por pozo en operaciones terrestres.

El método propuesto de desorción térmica genera un impacto ambiental inferior, ya que los rípios de perforación son tratados y dispuestos en la misma locación, además de que reduciría drásticamente la logística y transporte de los mismos.

El método propuesto de desorción térmica reduce también la utilización de nuevo material para fabricar nuevo lodo base aceite, ya que de los rípios tratados se puede recuperar hasta un 85% de material, con el método actual de biorremediación todos los rípios de perforación son almacenados, transportados y tratados fuera de la locación para su disposición final.

Otra ventaja muy importante del proceso LTITD a tomar en cuenta es que su equipo a diferencia de los utilizados en otras tecnologías, no requiere de grandes espacios para operar. Esta ventaja desde el punto de vista de aprovechamiento del reducido espacio que se tiene en la plataforma de perforación es importante considerarla. Como se indicó anteriormente, el área aproximada requerida para este proceso es de aproximadamente 35m por

75m, mientras que con el proceso actual de biorremediación, las 3 piscinas de ripios de perforación más el área requerida para manejo de los ripios de perforación es de aproximadamente una hectárea.

Como fue señalado anteriormente, esta tecnología LTITD ofrece una gran ventaja económica, especialmente cuando se planifica utilizarla para la perforación de varios pozos, mientras más pozos se perforen entonces mayor será la ventaja económica en el costo del lodo base aceite o base aceite sintético que se vaya a utilizar.

## **6.2. Recomendaciones**

Previo a la implementación del proceso LTITD es necesario realizar más ensayos experimentales y análisis de su efectividad para el uso de esta tecnología en la limpieza de los ripios de perforación. Este tipo de análisis debe ser químico y petrofísico (propiedades de las rocas y de la formación) entre los que se menciona composición química, distribución del tamaño de partículas, permeabilidad, densidad, contenido calórico, concentraciones y análisis de metales. El análisis debe ser realizado por las empresas que prestan este tipo de tecnología; la hacen con una muestra de ripios de perforación a los cuáles se les humecta con el tipo de lodo de perforación a utilizarse, luego se determina el porcentaje de humectabilidad del lodo en los ripios, después se somete al tratamiento para determinar el porcentaje de la fase líquida del lodo que es capaz de recuperar el proceso LTITD, así se determina la efectividad del proceso.

Para la selección del equipo del proceso LTITD es importante asegurarse de que este tiene suficiente capacidad de procesamiento para los ripios húmedos que se generan, especialmente para aquellos instantes en que el taladro perfora a las máximas tasas de penetración. Ya que de lo contrario, pese a que una piscina de contingencia o almacenamiento podría solucionar parcialmente el problema, de no ser así, el parar las operaciones de perforación por esta causa sería muy costoso.

Se recomienda la opción de perforar más pozos desde una misma locación al disponer de una unidad de desorción térmica en locación, ya que en términos de costos es más económico porque la logística relacionada con el transporte y manejo de los rípios de perforación se reduce drásticamente, se debería considerar un análisis más detallado con las áreas de producción, reservorios y geología para poder planificar esta opción y un posterior análisis técnico económico.

Se recomienda a las operadoras a perforar y desarrollar más pozos horizontales en vez de los convencionales que se hacen actualmente en Ecuador, aparte del mejor beneficio en producción de crudo, hay mucha más tecnología de punta a nivel internacional, que pueden dar mejores soluciones a los problemas operativos en la industria hidrocarburífera, entre estas se puede mencionar a la desorción térmica para el tratamiento de los rípios de perforación.

## REFERENCIAS

- Acosta, A. (2000). *El Ecuador post petrolero*. Acción Ecológica.
- Adam T. Bourgoynr Jr, Keith K. Millheim, Martin E. Chenevert, F.S. Young Jr (1991). *Applied Drilling Engineering*, Society of Petroleum Engineers, USA.
- Arcentales, C., & Sotomayor, E. (2013). *Fotos Viaje Chevron*. Recuperado el 17 de Febrero de 2017 de <http://www.coancoan.com/page3?lightbox=image182g>
- ASME Shale Shaker Committee. (2011). *Drilling Fluids Processing Handbook*. Elsevier.
- Barba V. (1999). *Desorción Térmica Indirecta a baja temperatura-LTITD aplicada al tratamiento de los Ripios de Perforación humedecidos con lodos base aceite sintético-SOBM en el campo Villano-Bloque 10*.
- Cabrera Rafael. (2012). *Lean Six Sigma TOC. Simplificado.PYMES*. Rafael Carlos Cabrera Calva.
- Clarence Liew/Jason Wong (2013). *Independent P-51, GL Industrial Services*, Singapore.
- Constitución de la República del Ecuador. (1998). Decreto Ejecutivo 1215 Registro Oficial No. 265, 2001. Recuperado el 17 de Febrero de 2017 de <http://www.miliarium.com/Paginas/Leyes/Internacional/Ecuador/Contaminacion/Decreto1215-01.pdf>
- Contrato No. C-97-AOI-0013 - Servicios de Remediación de Cortes por Desorción Térmica. (1997).
- Devereux, S. (2012). *Drilling Technology in Nontechnical Language*. PennWell Books.
- EPA (1996), Organización para la Protección del Medio Ambiente, Desechos Sólidos y Respuestas en Situaciones de Emergencia, 5102G, Estados Unidos.
- Finer, M., Vijay, V., Pappalardo, S., & De Marchi, M. (2013). La frontera extractiva avanza en el Parque Nacional Yasuni. Recuperado el 17 de Febrero de 2017 de <http://www.geoyasuni.org/?p=1283>

- Fontaine, G. (2004). *Petróleo y desarrollo sostenible en Ecuador: las apuestas*. Flacso-Sede Ecuador.
- Ganuzo C. (2012). *Petroleo, Estado y Socialismo Siglo XXI: EP Petroecuador y la Construcción del Proceso de Integración Energética Nacional*.
- G. Gabolde and J.-P. Nguyen (1999). *Drilling Data Handbook*, Editions Technip 27 rue Ginoux, 75737 Paris Cedex 15, France.
- Halliburton. (2007). Baroid Fluid Services offers Range of Thermal Desorption Solutions. Recuperado el 10 de Enero de 2017 de [http://www.halliburton.com/public/bar/contents/Data\\_Sheets/web/Sales\\_Data\\_Sheets/SDS-059.pdf](http://www.halliburton.com/public/bar/contents/Data_Sheets/web/Sales_Data_Sheets/SDS-059.pdf)
- Halliburton. (2010). *Northwest Kazakhstan Case*. Recuperado el 10 de Enero de 2017 de [http://www.halliburton.com/public/bar/contents/Case\\_Histories/web/H07539.pdf](http://www.halliburton.com/public/bar/contents/Case_Histories/web/H07539.pdf)
- Iglesias, E. P. (2009). *Petróleo y gas natural*. Ediciones AKAL.
- IWCF Drilling Well Control – Certification Manual (2010). TPTI Bangpu Training Center, Thailand.
- Kato, I., & Smalley, A. (2013). *Toyota Kaizen Methods: Six Steps to Improvement*. CRC Press.
- Lathrop, K., Robin, & Slack, C. (1999). *The Villano Project*. Quito: Atlantic Richfield Company, USA.
- Louisiana Statewide Order 29-B. (2010). Código Administrativo de Louisiana, LAC 43:XIX.401. Recuperado el 17/02/2017 de [http://www.dnr.louisiana.gov/assets/OC/43XIX\\_June2010.pdf](http://www.dnr.louisiana.gov/assets/OC/43XIX_June2010.pdf)
- Mapa de Bloques Petroleros del Ecuador Continental. (2015). Recuperado el 7 de Febrero de 2017 de [http://www.she.gob.ec/wp-content/uploads/2015/09/Mapa-Bloques-Petroleros-actualizado-en-la-WEB-25\\_09\\_2015.pdf](http://www.she.gob.ec/wp-content/uploads/2015/09/Mapa-Bloques-Petroleros-actualizado-en-la-WEB-25_09_2015.pdf)
- Mapa Topográfico de Planta del campo bloque 10. (2001).
- M. Dolores Proubasta (2006). *Glossary of the Petroleum Industry, English-Spanish*, PennWell Corp 1421 South Sheridan, USA.

- Morales I. (2013). WP-Técnicas-Resolución-de-Problemas-5-Por-Qué. Recuperado el 29 de Enero de 2017 de <http://www.5consultores.com/wp-content/uploads/2014/06/WP-T%C3%A9cnicas-Resoluci%C3%B3n-de-Problemas-5-Por-Qu%C3%A9.pdf>
- M. Sauman, Robhy Permana, Pahala Panjaitan, Benny Daton, John Albuja, Slamet, Elsa Diana. (2011). Badak-232, Independent Investigation Team, VICO Indonesia, Wisma Mulia, Jakarta.
- Muñoz, J., & Jara, M. (2012). *Informe de Biorremediación 2008-2011*. Otón, Ecuador.
- Nabi Bidhendi, T. B., & Rashedi H. (2016). Study of Improvement Oil - based *Drill Cuttings Azadegan Project Oil Field in Iran Using Thermal Desorption Method*. Recuperado el 7 de Febrero de 2017 de [http://bipublication.com/files/ijabr20160582\\_Tahmasebi.pdf](http://bipublication.com/files/ijabr20160582_Tahmasebi.pdf)
- Orszulik, S. (2007). *Environmental Technology in the Oil Industry*. Springer Science & Business Media.
- Shingo, S., & Dillon, A. P. (1989). *A Study of the Toyota Production System: From an Industrial Engineering Viewpoint*. CRC Press.
- Sinha, R. K., Valani, D., & Sinha, S. (2010). *Environmental Biotechnologies for Bioremediation of Contaminated Lands and Soil by Microbes, Plants and Earthworms*. Nova Science Publishers.
- Sistemas de Circulación de PDVSA. (2002). Recuperado el 7 de Febrero de 2017 de <http://perfob.blogspot.com/2015/08/componentes-del-sistema-de-circulacion.html>
- SURE - Wellsite Learning Manual*. (1997).
- Trias, M., Gonzalez, P., Fajardo, S., & Flores, L. (2009). *Las 5 W + H y el ciclo de mejora en la gestión de procesos*.
- Zupan T. (1999). V 4-8 Batch Plan.

## **ANEXOS**

## GLOSARIO

CPF – Central de Facilidades de Procesos “*Central Process Facilities*”

TPH – Presencia de Hidrocarburos Totales “*Total Presence of Hydrocarbon*”

TIR – Tasa Interna de Retorno

CAPEX - Inversiones en Bienes de Capitales – “*Capital Expenditures*”

OPEX – Inversiones Operativas “*Operating Expenditure*”

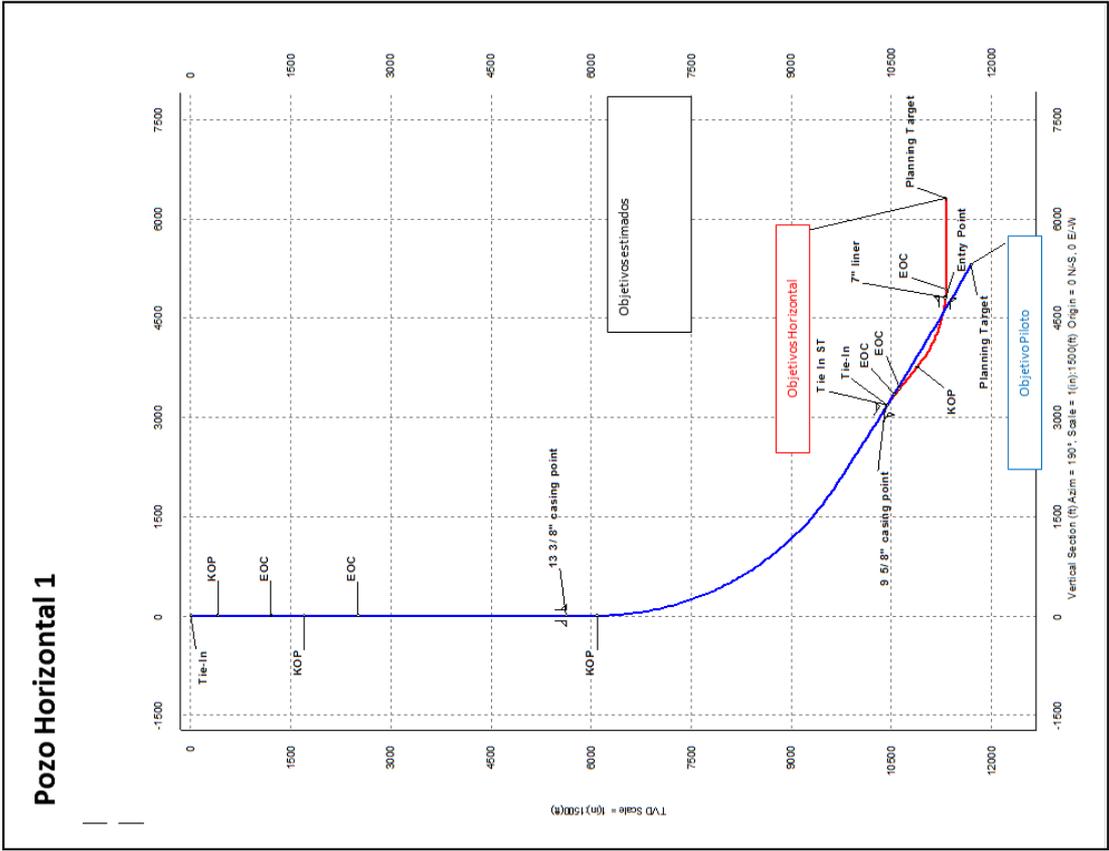
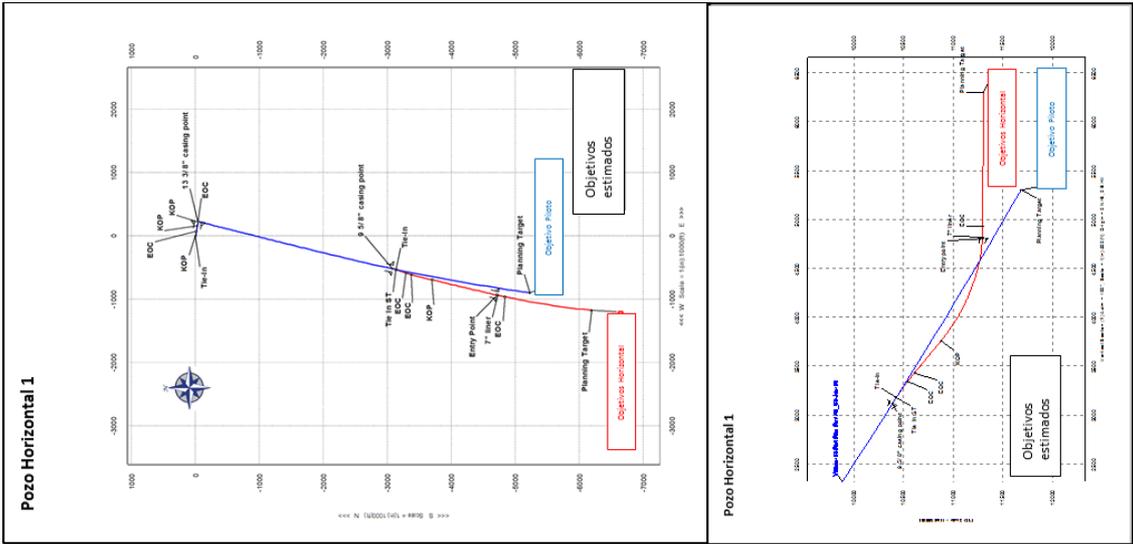
LTITD – Desorción Térmica Indirecta a Baja Temperatura “*Low Temperature Indirectal Thermal Desorption*”

TPS – Separación de Fase Térmica “*Thermal Phase Separation*”

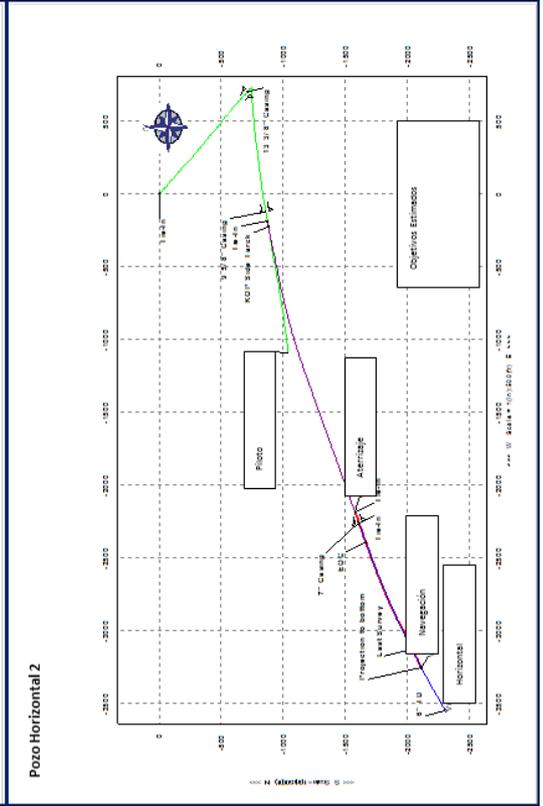
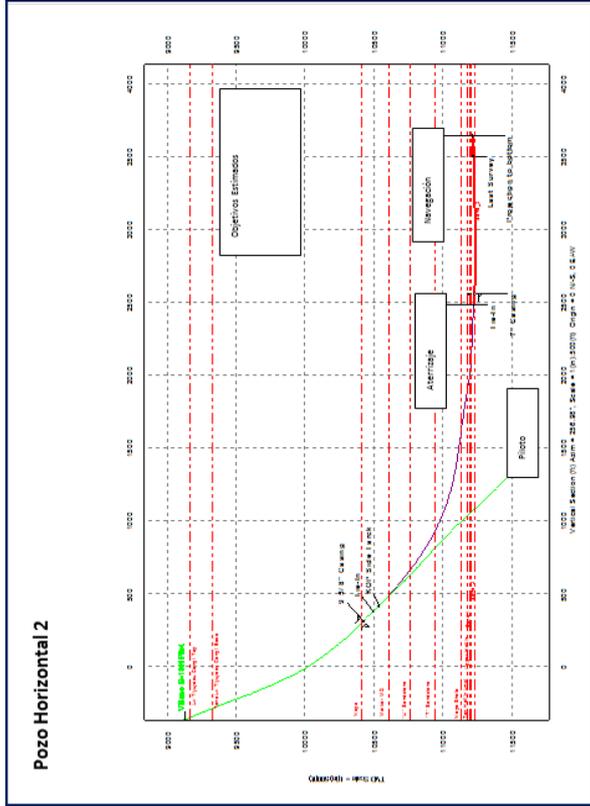
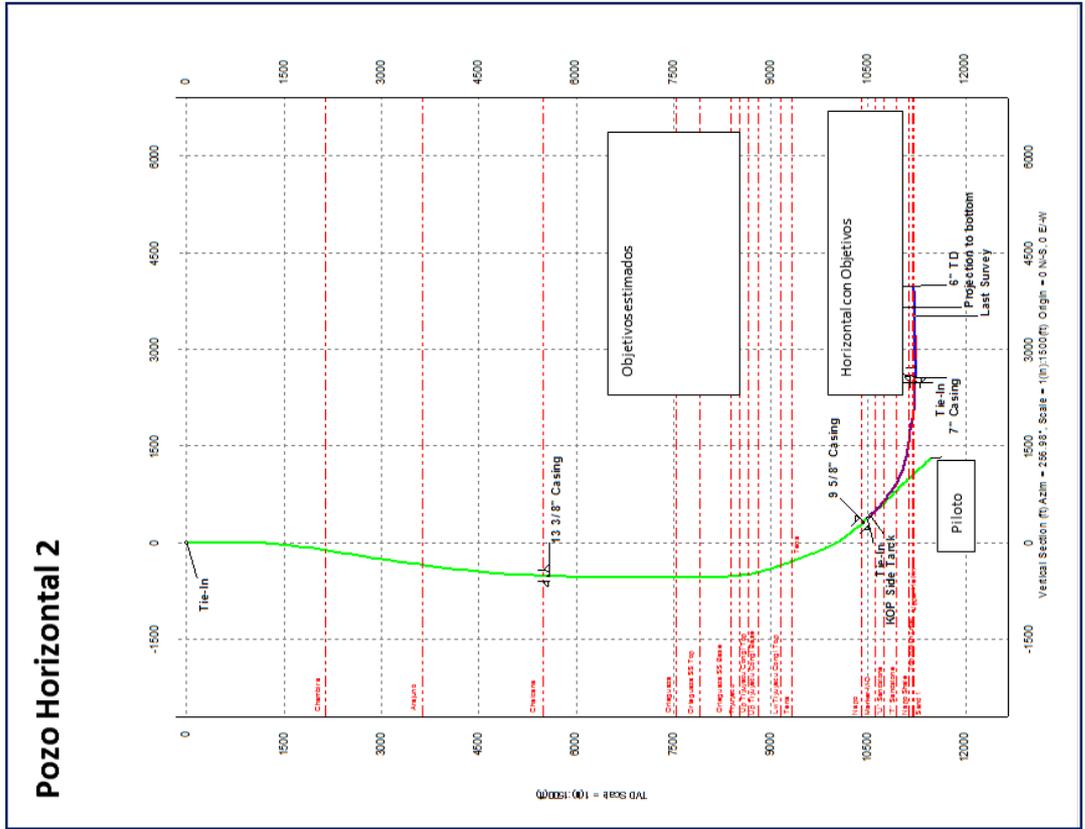
CRA – Centro de Remediación Ambiental

ERA – Estaciones de Remediación Ambiental

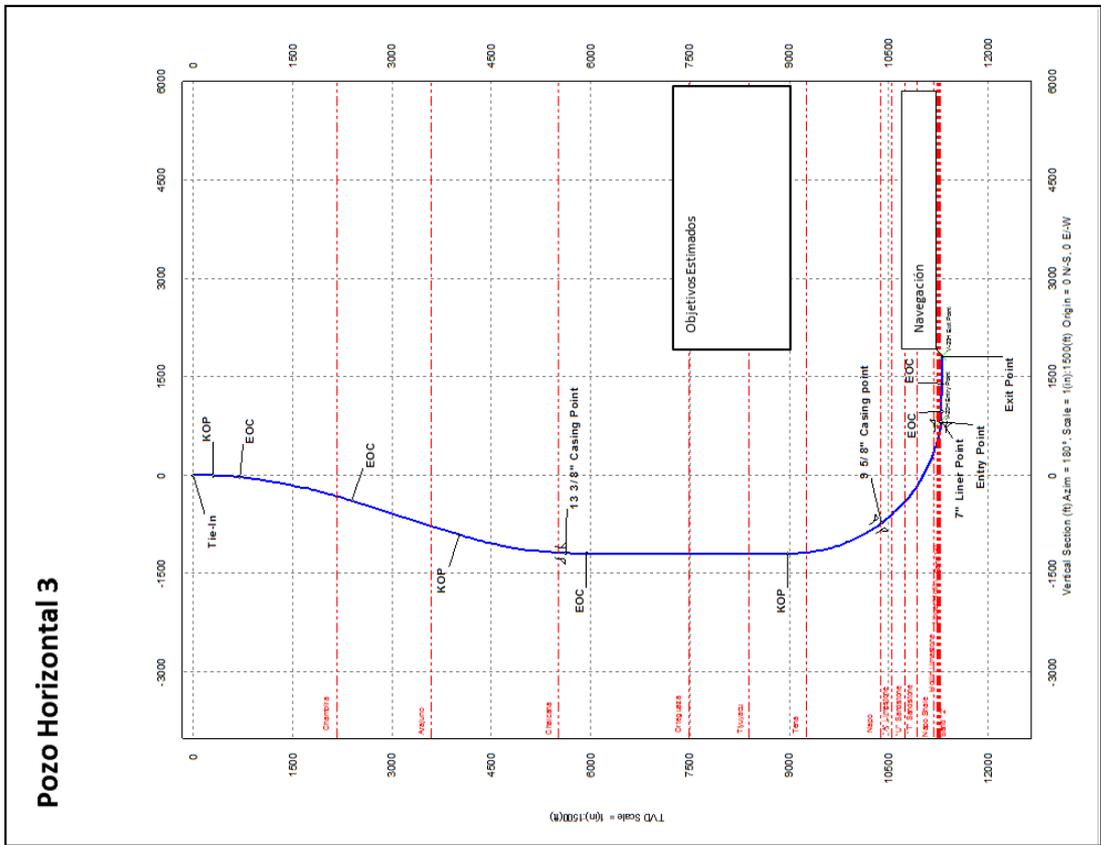
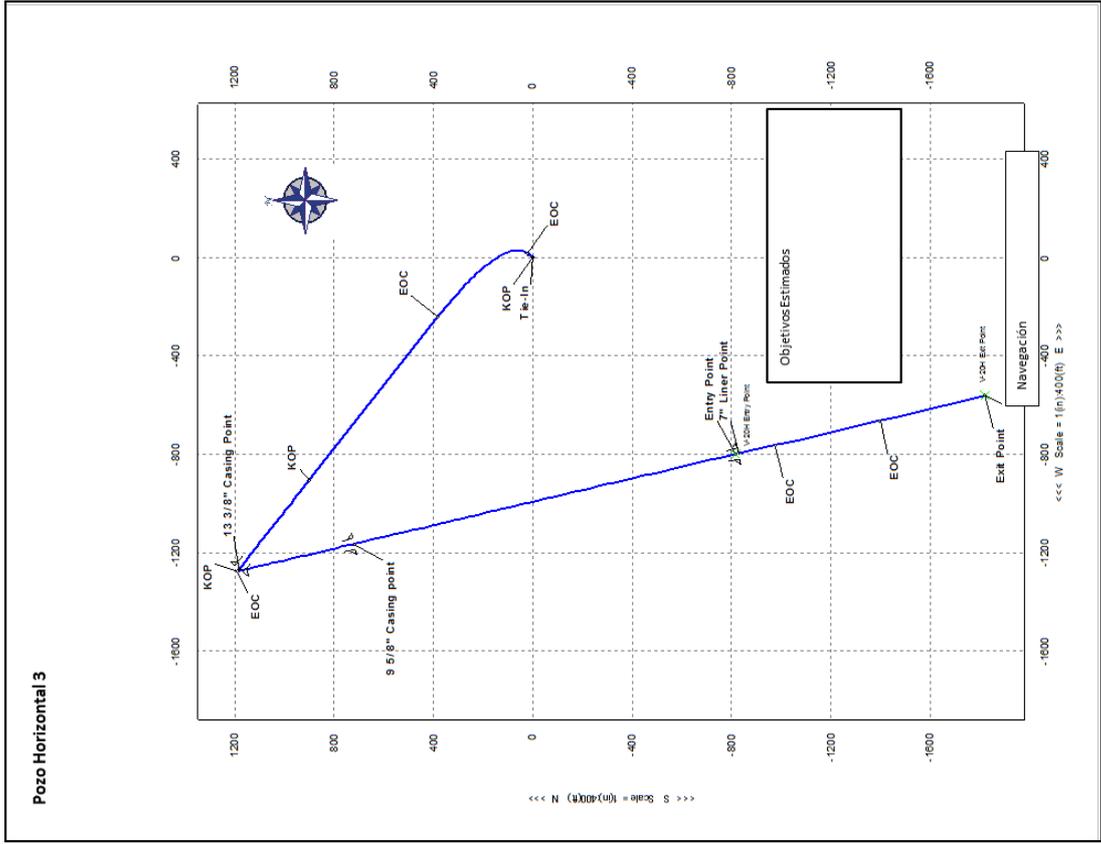
EPA - Agencia de Protección del Medio Ambiente “*Environmental Protection Agency*”



Anexo 1. Vista Transversal y de Planta del Pozo Horizontal 1



Anexo 2: Vista Transversal y de Planta del pozo Horizontal 2



Anexo 3: Vista Transversal y de Planta del pozo Horizontal 3

**COSTOS DEL POZO (\$)**

POZO: **Horizontal 1**  
 Tipo: **Producción**  
 Operación: **Operación**  
 Taladro: **360-365**  
 Código Costo: **360-365**

CC	DESCRIPCIÓN	Duración (Días)	Profundidad (ft MD)		150	1,000	5,481	12,312	12,180	13,250	0	5	Comp	DEMOSNOV	MOVIFAISE	TOTAL \$
			3"	5"												
<b>MATERIALES</b>																
0649/1649	Productos de Lotos	0	5,957	163,513	99,364	163,513	273,256	273,256	236,730	73,920	0	0	0	0	0	1,134,073
0648/1648	Brocas & Tornadores de núcleos	0	56,226	37,946	61,600	113,409	71,456	28,076	28,076	77,493	0	0	0	0	0	489,785
0680/1680	Cemento y Aditivos	0	14,503	67,385	164,814	166,529	147,840	26,076	26,076	0	0	0	0	0	0	587,147
0621/1621	Materiales de Revestidores	0	21,516	419,471	532,277	873,210	0	0	0	219,286	0	0	0	0	0	2,211,896
0628/1628	Accesorios de Tuberia	0	61,600	36,960	36,960	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	614,226
1538	Materiales de Completación	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	272,950
0634/1634	Materiales de Facilidades	0	456,317	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	840,226
0687/1687	Taponos y Puertes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0522/1522	Equipos de Cabezales	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0533/1533	Materiales perdidos en el hueco	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0529/1529	Otros materiales Perforación/Comp	0	6,160	3,368	8,009	13,522	10,482	9,242	4,318	3,080	8,213	0	0	0	0	76,168
0639/1639	Total de Materiales	0	462,477	1,367,144	903,024	1,367,144	503,534	746,494	320,541	1,173,140	8,213	0	0	0	0	6,226,471
0639/1639	Taladro Mov/Desnov	0	392,975	219,946	519,779	877,610	599,796	599,796	280,247	199,892	456,661	0	0	0	0	4,783,751
0649/1649	Renta de Equipo de Iomb	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	616,000
0649/1649	Abastecimiento	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	151,505
0647/1647	Lubricantes/Combustibles	0	40,040	16,283	38,443	64,908	50,315	44,361	20,727	14,784	22,176	0	0	0	0	55,440
0639/1639	Equipo Contratista Mov/Desnov	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	318,176
0631/1631	Equipo Pesado Mov/Desnov	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,393,125
0637/1637	Helicoptero Biviano - Tarifa diaria	0	461,633	76,840	168,860	394,413	516,217	465,130	212,654	105,517	527,581	0	0	0	0	7,317,997
0641/1641	Combustible	0	45,804	5,725	12,586	29,776	38,971	30,581	16,054	11,451	30,536	0	0	0	0	306,084
0641/1641	Total de Transporte	0	112,365	247,207	584,367	986,662	764,833	674,327	315,071	175,568	760,021	0	0	0	0	6,072,250
0630/1630	Seguro/Permisos/Aduanas	0	0	6,748	126,420	264,272	38,760	82,376	37,697	65,789	0	0	0	0	0	793,073
0659/1659	Permisos/Seguridad y Permisos	0	0	2,243	13,720	5,433	15,433	15,433	0	0	0	0	0	0	0	29,220
0659/1659	Total de Permisos/Seguridad y Permisos	0	0	6,972	131,379	172,773	54,693	65,903	44,018	65,789	0	0	0	0	0	856,993
0642/1642	Operación de los pozos de Perforación	0	4,620	10,164	24,027	49,567	31,447	27,726	12,954	9,240	0	0	0	0	0	160,745
0642/1642	Operación de los pozos de Perforación	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	530,145
0684/1684	Renta de Equipo Top Drive	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0650/1650	Control de Sólidos	0	13,347	20,020	44,045	104,116	136,289	120,144	56,136	13,347	13,347	0	0	0	0	686,562
0662/1662	Cementación y Bombeo	0	6,160	9,240	20,328	48,054	62,894	55,451	25,909	6,160	6,160	0	0	0	0	321,490
0682/1682	Servicios de Revestimiento	0	26,207	26,207	26,207	26,207	26,207	26,207	0	0	0	0	0	0	0	145,194
0657/1657	Núcleos y similares	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0652/1652	Registros Eléctricos y perforaciones	0	0	0	32,036	103,370	226,729	89,943	17,273	0	0	0	0	0	0	469,351
0683/1683	Direccionales	0	0	74,537	240,268	462,613	418,973	725,447	0	0	0	0	0	0	0	2,296,612
0653/1653	Muestras y Control	0	2,983	4,475	9,846	39,296	30,461	26,857	12,548	2,983	2,983	0	0	0	0	155,708
0687/1687	Equipos de Iomb	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	460,768
0656/1656	Equipos Superficiales	0	1,643	3,614	8,543	14,424	11,181	9,658	4,606	0	0	0	0	0	0	87,155
1643	Servicios de Completación	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,160
0695/1695	Personal y Soporte	0	445,049	27,480	142,912	241,296	187,046	164,912	77,053	54,960	210,955	0	0	0	0	1,822,334
0638/1638	Personal de Perforación - Campo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0696/1696	Ones Especialistas	0	0	9,240	9,240	9,240	9,240	9,240	0	0	0	0	0	0	0	642,955
0696/1696	Total de Servicios	0	93,685	258,437	688,976	1,095,602	1,392,637	1,168,337	543,448	231,170	231,170	0	0	0	0	965,180
0696/1696	Costo Subtotal por Fase	0	756,169	1,543,571	3,109,322	5,076,144	3,749,597	3,597,232	2,119,938	2,311,140	1,789,242	0	0	0	0	28,436,891
<b>SERVICIOS</b>																
<b>Horizontal 1</b>																
<b>Total de Materiales</b>																
<b>Total de Taladro</b>																
<b>Total de Transporte</b>																
<b>Total de Permisos/Seguro/Aduanas</b>																
<b>Subtotal Cost por Fase</b>																
<b>PERFORACIÓN &amp; COMPLETACIÓN</b>																
<b>Total de Materiales</b>																
<b>Total de Taladro</b>																
<b>Total de Transporte</b>																
<b>Total de Permisos/Seguro/Aduanas</b>																
<b>Subtotal Cost por Fase</b>																

Anexo 4: Costos detallados pozo Horizontal 1 con operaciones Heli-transportables y tratamiento por medio de Biorremediación



**COSTOS DEL POZO (\$)**  
**POZO: Horizontal 1**  
 Tipo: Productor  
 Taladro: Adelfinir  
 Código Costo: 300-365

CC	DESCRIPCIÓN	Profundidad (ft MD)												MOV/AS	TOTAL \$	
		Duración (Días)														
		150	1,000	5,461	10,628	12,312	12,180	13,250	0	0	0	0	0	0	0	87
		SE	SE	1712'	1214'	8102' (Phase)	8102' (ft)	6'	SE	SE	SE	SE	SE	SE	MOV/AS	
0649/1649	Procesos de Lodos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0646/1646	Brocas y Tornadores de núcleos	0	6,998	93,364	163,513	273,766	271,634	238,730	73,920	1,134,073	0	0	0	0	0	1,134,073
0680/1680	Cemento y Aditivos	0	58,426	37,846	113,409	166,529	71,456	77,493	0	487,785	0	0	0	0	0	487,785
0521/1521	Materiales de Revestidores	0	14,503	67,385	164,814	147,840	26,076	0	219,296	0	0	0	0	0	0	219,296
0628/1628	Accesorios de Tubería	0	61,600	532,277	419,471	36,960	221,760	0	219,960	0	0	0	0	0	0	219,960
1538	Materiales de Completación	0	0	0	0	0	0	0	272,950	0	0	0	0	0	0	272,950
0634/1634	Materiales de Facilidades	0	0	0	0	0	0	0	383,908	0	0	0	0	0	0	383,908
0681/1681	Tapones y Puentes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0522/1522	Equipos de Cabezales	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0530/1530	Materiales perdidos en el hueco	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0520/1520	Otros materiales Perforación/Comp	0	1,940	8,009	13,522	10,482	9,242	4,318	3,080	4,107	4,107	4,107	4,107	4,107	4,107	65,902
0637/1637	Taladro - Tarifa diaria	0	460,424	1,367,144	903,024	1,367,144	903,024	1,367,144	903,024	1,367,144	903,024	1,367,144	903,024	1,367,144	903,024	6,216,204
0639/1639	Taladro - Tarifa diaria	0	132,612	405,875	314,468	277,256	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,304,331
0645/1645	Rentado de Equipo de fondo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0645/1645	Rentado de Equipo Superficial	0	4,620	10,164	40,967	31,447	27,726	12,854	55,440	0	0	0	0	0	0	151,505
0637/1637	Abastecimiento de Agua	0	11,088	38,443	64,908	50,315	44,361	20,727	14,784	11,088	11,088	11,088	11,088	11,088	11,088	290,456
0647/1647	Lubricantes/Combustibles	0	40,040	85,080	208,232	272,539	240,283	112,271	80,080	0	0	0	0	0	0	1,393,125
0639/1639	Equipo Centralista Mov/Desmov	0	143,700	510,970	862,735	668,769	589,630	275,497	242,704	93,221	93,221	93,221	93,221	93,221	93,221	3,794,857
0631/1631	Helicóptero pesado Mov/Desmov	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0636/1636	Helicóptero pesado - Tarifa diaria	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0637/1637	Helicóptero liviano - Tarifa diaria	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0641/1641	Combustible	0	16,427	32,036	54,090	41,929	36,967	17,273	12,320	16,427	16,427	16,427	16,427	16,427	16,427	263,607
0630/1630	Seguro/Permisos/Aduanas	0	9,856	21,683	51,257	67,087	59,148	27,638	65,789	0	0	0	0	0	0	444,354
0659/1659	Medio Ambiente - Seguridad y Permisos	0	2,254	4,959	11,723	19,793	15,343	13,527	6,321	0	0	0	0	0	0	73,920
0624/1624	Ingeniería de Lobos de Perforación	0	8,972	131,379	172,773	284,065	54,093	95,903	44,018	65,789	0	0	0	0	0	856,993
0642/1642	Disposición Ripios y tratamiento	0	4,620	10,164	40,967	31,447	27,726	12,854	9,240	0	0	0	0	0	0	160,745
0684/1684	Renta de Equipo Top Drive	0	0	0	0	0	0	243,995	204,267	81,883	0	0	0	0	0	530,145
0650/1650	Control de Sólidos	0	44,045	104,116	175,792	136,269	120,144	56,136	0	0	0	0	0	0	0	696,562
0627/1627	Cementación y Bombeo	0	20,328	48,054	81,135	62,884	55,451	25,909	0	6,160	6,160	6,160	6,160	6,160	6,160	321,480
0627/1627	Servicios de Revestimiento	0	26,207	26,207	25,006	0	40,966	0	0	0	0	0	0	0	0	146,194
0627/1627	Núcleos y similares	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0627/1627	Registros Eléctricos y perforaciones	0	0	3,036	103,770	228,729	89,043	17,273	0	0	0	0	0	0	0	463,511
0627/1627	Equipos de Control	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,294,612
0657/1657	Muestras y Control	0	74,537	240,868	469,513	418,972	725,437	0	0	0	0	0	0	0	0	1,554,708
0687/1687	Equipos de fordo	0	4,475	9,846	23,274	39,246	30,461	12,548	0	0	0	0	0	0	0	460,768
0656/1656	Equipos Superficiales	0	1,643	3,614	14,424	11,181	9,858	4,606	6,160	1,095	1,095	1,095	1,095	1,095	1,095	57,155
1643	Servicios de Completación	0	0	0	0	0	0	0	0	6,160	0	0	0	0	0	6,160
0655/1655	Personal y Soporte	0	445,049	142,912	241,296	187,046	164,912	77,053	54,960	210,565	210,565	210,565	210,565	210,565	210,565	1,822,334
0638/1638	Personal de Perforación - Campo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0696/1696	Otros Especialistas	0	9,240	9,240	9,240	9,240	9,240	9,240	12,320	0	0	0	0	0	0	842,955
0656/1656	Total de Servicios	758,169	504,140	658,676	1,056,602	1,392,537	1,168,337	1,013,809	543,448	234,170	234,170	234,170	234,170	234,170	234,170	7,965,180
	<b>Total Costo por Fase</b>	<b>758,169</b>	<b>1,142,075</b>	<b>2,296,700</b>	<b>3,706,091</b>	<b>2,686,019</b>	<b>2,659,512</b>	<b>1,681,500</b>	<b>2,044,793</b>	<b>1,681,500</b>	<b>2,044,793</b>	<b>365,309</b>	<b>365,309</b>	<b>365,309</b>	<b>365,309</b>	<b>19,277,587</b>

PERFORACIÓN & COMPLETACIÓN												MOV/AS	TOTAL \$		
MOV/AS	SE	SE	1712'	1214'	8102' (Phase)	8102' (ft)	6'	SE	SE	SE	SE	SE	SE	MOV/AS	TOTAL \$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	480,424	1,367,144	903,024	1,367,144	903,024	1,367,144	903,024	1,367,144	903,024	1,367,144	903,024	1,367,144	903,024	4,107	6,216,204
0	143,700	510,970	862,735	668,769	589,630	275,497	242,704	93,221	93,221	93,221	93,221	93,221	93,221	93,221	3,794,857
0	33,810	86,544	51,257	67,087	59,148	27,638	19,712	33,810	33,810	33,810	33,810	33,810	33,810	33,810	444,354
0	8,972	131,379	172,773	284,065	54,093	95,903	44,018	65,789	0	0	0	0	0	0	856,993
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	504,140	1,056,602	1,392,537	1,168,337	1,013,809	543,448	234,170	234,170	234,170	234,170	234,170	234,170	234,170	234,170	7,965,180
0	758,169	1,142,075	2,296,700	3,706,091	2,686,019	2,659,512	1,681,500	2,044,793	1,681,500	2,044,793	365,309	365,309	365,309	365,309	19,277,587

Anexo 6: Costos detallados pozo Horizontal 1 con operaciones Terrestres y tratamiento por medio de Biorremediación

**COSTOS DEL POZO (\$)**

POZO: Horizontal 1

Tipo: Productor

Taladro: A definir

Código Costo: 360-365

CC	DESCRIPCIÓN	Profundidad (ft MD)										MOV	Estudios & Permisos	Duración (Días)	TOTAL \$		
		150	3	6	13	22	10,628	12,312	12,180	13,250	0					5	COMP
<b>MATERIALES</b>																	
0641/1619	Productos de Lodos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0641/1620	Caras y Aditivos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0680/1680	Concreto y Activos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0621/1621	Materiales de Revestidores	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0628/1628	Accesorios de Tubería	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0634/1634	Materiales de Compleción	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0634/1634	Materiales de Facilidades	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0681/1681	Tapones y Puentes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0622/1622	Equipos de Cabezales	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0633/1633	Materiales perdidos en el hueco	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0623/1623	Otros materiales Perforación/Comp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0633/1633	Total de Materiales	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0637/1637	Taladro - Tarifa diaria	1,540	3,398	8,009	13,522	10,482	9,242	4,318	3,080	4,107	65,902	0	0	0	0	0	0
0637/1639	Taladro Mov/Desmov	161,541	572,148	903,024	1,367,144	862,468	705,427	279,474	173,140	4,107	6,093,004	0	0	0	0	0	0
0641/1641	Remita de Equipo Superficial	46,200	101,641	240,268	406,675	314,468	277,256	128,944	92,400	82,133	1,904,331	0	0	0	0	0	0
0641/1641	Abastecimiento	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0633/1633	Lubricantes/Combustibles	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0647/1647	Total de Taladro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0639/1639	Equipo Contratista Mov/Desmov	98,262	40,040	88,089	208,232	351,585	240,288	112,271	80,080	0	1,393,125	0	0	0	0	0	0
0631/1631	Helicoptero pesado - Tarifa diaria	46,130	3,696	8,131	19,221	32,454	25,157	22,180	10,364	7,392	35,124	244,975	0	0	0	0	0
0638/1638	Helicoptero liviano - Tarifa diaria	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0647/1647	Combustible	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0639/1639	Seguro/Permisos/Aduanas	16,427	6,160	13,552	32,036	54,090	41,929	36,967	17,273	12,320	16,427	263,607	0	0	0	0	0
0659/1659	Medio Ambiente - Seguridad y Permisos	9,896	21,883	51,287	86,544	67,087	59,148	27,836	19,712	51,551	508,982	0	0	0	0	0	0
0621/1621	Total de Permisos/Seguro/Aduanas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0647/1647	Seguro de Equipos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0647/1647	Seguro de Equipos Top Drive	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0650/1650	Control de Sólidos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0662/1662	Cementación y Bombeo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0682/1682	Servicios de Revestimiento	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0657/1657	Núcleos y similares	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0683/1683	Registros Eléctricos y perforaciones	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0653/1653	Discos/bales	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0687/1687	Muestras y Control	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0659/1659	Equipos de fondo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0687/1687	Equipos Superficiales	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0638/1638	Servicios de Compleción	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0638/1638	Personal de Perforación - Campo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0698/1698	Otros Especialistas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0638/1638	Total de Servicios	756,169	504,140	1,01,077	1,170,510	1,278,417	1,083,359	990,820	588,232	234,170	7,884,883	0	0	0	0	0	0
0638/1638	Costo Subtotal por Fase	756,169	1,170,822	379,698	3,770,999	2,516,512	2,521,148	1,905,125	2,059,577	383,049	19,101,358	0	0	0	0	0	0
<b>SERVICIOS</b>																	
<b>PERFORACIÓN &amp; COMPLETACIÓN</b>																	
0638/1638	Total de Materiales	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0638/1638	Total de Taladro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0638/1638	Total de Transporte	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0638/1638	Total de Permisos/Seguro/Aduanas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0638/1638	Total de Servicios	756,169	504,140	1,01,077	1,170,510	1,278,417	1,083,359	990,820	588,232	234,170	7,884,883	0	0	0	0	0	0
0638/1638	Costo Subtotal por Fase	756,169	1,170,822	379,698	3,770,999	2,516,512	2,521,148	1,905,125	2,059,577	383,049	19,101,358	0	0	0	0	0	0

Anexo 7: Costos detallados pozo Horizontal 1 con operaciones Terrestres y tratamiento por medio de Desorción Térmica

COSTOS DEL POZO (\$)												
POZO: Horizontal 2												
Tipo: Productor												
Tallador: A definir												
Codigo Costo: 360-365												
Profundidad (ft MD)												
Duración (Días)												
CC	DESCRIPCIÓN	MOV	17 1/2"	13	10,525	12,012	11,896	13,097	5	8	80	TOTAL \$
		Estudios & Permisos	12 1/2" (Piezo)	8 1/2" (HI)	8 1/2" (Piezo)	8 1/2" (HI)	8 1/2" (HI)	8 1/2" (HI)	COMP	DESMOV	MOV/PADS	
0649/1649	Productos de Lodos	0	107,310	162,873	272,103	269,709	238,149	73,920	0	0	0	1,124,064
0646/1646	Biocas & Tomadores de núcleos	0	61,600	113,409	71,456	77,493	0	0	0	0	0	395,414
0680/1680	Cemento y Aditivos	0	161,404	164,915	147,840	23,528	0	0	0	0	0	487,687
0621/1621	Materiales de Revestidores	0	621,198	917,902	157,366	0	0	0	0	0	0	1,886,120
0628/1628	Accesorios de Tubería	0	36,960	36,960	221,760	0	0	0	0	0	0	515,666
1538	Materiales de Completación	0	456,317	0	0	0	0	0	0	0	0	272,950
0634/1634	Materiales de Facilidades	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	840,226
0681/1681	Tapones y Puentes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0521/1521	Equipos de Cabezales	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	260,323
0531/1531	Materiales perdidos en el hueco	0	6,160	13,559	10,473	9,240	4,932	3,080	0	0	0	71,880
0525/1525	Otros materiales Perforación/Comp	0	462,477	1,409,618	501,872	753,059	320,574	1,405,821	8,213	8,213	8,213	5,866,330
693/1693	Taladro - Tarifa diaria	392,975	519,807	879,992	679,670	599,676	320,094	199,892	456,661	456,661	456,661	4,506,429
0639/1639	Taladro Mov/Desmov	308,000	0	0	0	0	0	0	0	308,000	0	616,000
0644/1644	Renta de Equipo de fondo	0	24,028	40,678	31,418	27,720	14,796	0	0	0	0	138,640
0645/1645	Renta de Equipo Superficial	0	0	0	0	0	0	0	55,440	0	0	55,440
0633/1633	Abastecimiento	0	16,632	65,084	50,268	44,352	23,674	14,784	22,176	22,176	0	297,592
0647/1647	Lubricantes/Combustibles	0	208,243	352,539	272,287	240,240	128,235	80,080	0	0	0	1,281,624
0639/1639	Equipo Contratista Mov/Desmov	0	717,607	790,523	1,033,644	911,988	486,799	350,196	786,837	478,837	478,837	6,894,725
0631/1631	Helicóptero pesado Mov/Desmov	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0636/1636	Helicóptero pesado - Tarifa diaria	0	461,633	394,434	667,746	515,740	455,039	242,890	105,517	527,581	527,581	3,898,159
0637/1637	Helicóptero liviano - Tarifa diaria	0	45,804	29,777	38,935	34,353	18,337	11,451	30,536	30,536	30,536	290,140
0641/1641	Combustible	0	143,733	160,187	271,184	209,452	184,800	98,642	61,600	164,267	164,267	1,458,131
0630/1630	Seguro/Permisos/Aduanas	0	688,808	584,398	989,341	764,127	674,192	359,869	176,568	760,021	760,021	5,759,343
0659/1659	Medio Ambiente - Seguridad y Permisos	0	0	194,983	275,371	36,960	84,170	36,960	135,593	0	0	764,037
0624/1624	Ingeniería de Lodos de Perforación	0	268,903	275,371	36,960	84,170	36,960	0	0	0	0	73,920
0642/1642	Disposición Rápida y Tratamiento	0	24,128	40,678	31,418	14,796	0	0	9,240	0	0	837,957
0684/1684	Renta de Equipo Top Drive	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	480,936
0650/1650	Control de Sólidos	13,347	104,122	176,270	136,144	120,120	64,117	13,347	0	13,347	13,347	640,812
0662/1662	Cementación y Bombeo	6,160	48,056	81,355	62,835	55,440	29,593	0	0	0	0	295,759
0682/1682	Servicios de Revestimiento	0	26,207	25,606	0	0	0	0	0	0	0	92,779
0657/1657	Núcleos y similares	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0652/1652	Registros Eléctricos y perforaciones	0	32,037	103,517	226,690	89,936	19,728	0	0	0	0	471,909
0683/1683	Direccionales	0	240,280	375,976	462,029	418,880	828,594	0	0	0	0	2,325,760
0653/1653	Muestras y Control	2,983	23,275	39,403	26,851	14,333	0	0	0	2,983	2,983	143,246
0687/1687	Equipos de fondo	0	0	0	0	0	0	0	460,768	0	0	460,768
0656/1656	Equipos Superficiales	1,095	8,543	14,463	11,171	9,856	5,261	0	6,160	1,095	1,095	52,580
1643	Servicios de Completación	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,160
0685/1685	Personal y Soporte	445,049	110,197	186,554	144,087	127,129	67,858	42,368	113,036	113,036	113,036	1,348,333
0638/1638	Personal de Perforación - Campo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0686/1686	Otros Especialistas	758,169	37,527	63,530	49,068	43,283	23,109	24,891	97,550	97,550	97,550	1,230,192
Total de Materiales		0	462,477	1,409,618	501,872	753,059	320,574	1,405,821	8,213	8,213	8,213	5,866,330
Total de Taladro		0	717,607	790,523	1,033,644	911,988	486,799	350,196	786,837	478,837	478,837	6,894,725
Total de Transporte		0	688,808	584,398	989,341	764,127	674,192	359,869	176,568	760,021	760,021	5,759,343
Total de Permisos/Seguros/Aduanas		0	268,903	275,371	36,960	84,170	36,960	135,593	0	0	0	837,957
Total de Servicios		758,169	504,140	654,273	1,382,255	1,120,840	1,159,298	543,448	234,170	234,170	234,170	7,698,115
Total Costo por Fase		758,169	2,373,033	3,294,578	3,718,857	3,544,249	2,363,499	2,363,499	2,613,626	1,789,242	1,481,242	27,056,470

Anexo 8: Costos detallados pozo Horizontal 2 con operaciones Heli-transportables y tratamiento por medio de Biorremediación





COSTOS DEL POZO (\$)									
POZO: Horizontal 2									
Tipo: Productor									
Taladro: A definir									
Codigo Costo: 360-365									
CC	DESCRIPCIÓN	Profundidad (ft MD) Duración (Días)	5,348 13	10,525 22	12,012 17	11,896 15	13,097 8	0	80
			8 1/2" (Phi)						
			MOV						
			Estudios & Permisos						
0649/1649	Productos de Lodos		0	0	0	0	0	0	0
0646/1646	Brocas & Tomadores de núcleos		107,310	162,873	228,036	228,036	197,082	73,920	1,000,864
0680/1680	Cemento y Activos		61,400	113,409	71,456	71,456	77,493	0	395,414
0521/1521	Materiales de Revestidores		161,404	164,915	147,840	23,528	0	0	497,687
0628/1628	Accesorios de Tuberia		621,188	917,902	157,968	0	0	0	1,886,120
1538	Materiales de Completación		36,960	36,960	0	0	0	0	515,666
0634/1634	Materiales de Facilitación		0	0	0	0	0	0	272,950
0681/1681	Tapones y Puentes		456,317	0	0	0	0	0	840,226
0522/1522	Equipos de Cabezales		0	0	0	0	0	0	260,323
0533/1533	Materiales perdidos en el huero		0	0	0	0	0	0	0
0525/1525	Otros materiales Perforación/Comp		0	0	0	0	0	0	0
693/1693	Total de Materiales		8,009	13,559	10,473	9,240	4,932	3,080	61,613
0639/1639	Taladro Mov/Desmov		460,424	1,409,618	460,805	711,992	279,507	1,405,821	4,107
0644/1644	Renta de Equipo de fondo		132,612	406,776	314,177	277,200	147,963	92,400	82,133
0645/1645	Renta de Equipo Superficial		0	0	0	0	0	0	0
0633/1633	Lubricantes/Combustibles		0	0	0	0	0	0	0
0647/1647	Abastecimiento		24,028	40,678	31,418	27,720	14,796	0	138,640
0631/1631	Helicóptero pesado Mov/Desmov		38,445	65,084	50,268	44,352	23,674	55,440	55,440
0636/1636	Helicóptero liviano - Tarifa diaria		208,243	352,539	272,287	240,240	128,235	60,080	11,088
0641/1641	Combustible		0	0	0	0	0	0	0
0637/1637	Helicóptero pesado - Tarifa diaria		194,983	275,371	214,668	183,512	93,221	19,712	1,281,624
0630/1630	Seguro/Permisos/Aduanas		0	0	0	0	0	0	0
0659/1659	Medio Ambiente - Seguridad y Permisos		73,920	275,371	24,640	71,850	24,640	135,983	0
0624/1624	Total de Permisos/Seguro/Aduanas		268,903	275,371	24,640	71,850	24,640	135,983	0
0684/1684	Disposición Ripios y Tratamiento		24,028	40,678	31,418	27,720	14,796	9,240	147,880
0650/1650	Renta de Equipo Top Drive		38,445	65,084	122,704	109,061	66,880	14,784	0
0662/1662	Cementación y Bombero		0	0	0	0	0	0	0
0682/1682	Servicios de Revestimiento		104,122	176,270	136,144	120,120	64,117	13,347	640,812
0657/1657	Núcleos y similares		48,056	81,365	62,835	55,440	29,593	6,160	295,759
0652/1652	Registros Eléctricos y perforaciones		26,207	25,606	0	0	0	0	92,779
0683/1683	Direccionales		32,037	103,517	226,690	89,936	19,728	0	471,909
0687/1687	Muestras y Control		240,280	375,976	462,029	418,880	828,594	0	2,325,760
0656/1656	Equipos Superficiales		23,275	39,403	30,433	26,851	14,333	2,983	143,246
1643	Servicios de Completación		8,543	14,463	11,171	9,856	5,261	1,095	52,580
0695/1695	Personal y Soporte		110,197	186,554	144,087	127,129	67,858	42,388	113,036
0638/1638	Otros Especialistas		0	0	0	0	0	0	0
0696/1696	Personal de Perforación - Campo		758,169	1,409,618	460,805	711,992	279,507	1,405,821	4,107
	Total de Materiales		996,482	1,409,618	460,805	711,992	279,507	1,405,821	4,107
	Total de Taladro		143,700	865,077	668,151	589,512	314,668	242,704	93,221
	Total de Transporte		46,130	865,077	668,151	589,512	314,668	242,704	93,221
	Total de Permisos/Seguro/Aduanas		0	0	0	0	0	0	0
	Total de Servicios		758,169	1,409,618	460,805	711,992	279,507	1,405,821	4,107
	Costo Subtotal por Fase		1,170,822	3,809,282	2,497,199	2,591,743	1,784,660	2,362,062	383,049
			758,169	1,409,618	460,805	711,992	279,507	1,405,821	4,107
			143,700	865,077	668,151	589,512	314,668	242,704	93,221
			46,130	865,077	668,151	589,512	314,668	242,704	93,221
			0	0	0	0	0	0	0
			758,169	1,409,618	460,805	711,992	279,507	1,405,821	4,107
			504,140	1,172,436	1,276,579	1,069,253	1,134,279	558,232	234,170
			1,170,822	3,809,282	2,497,199	2,591,743	1,784,660	2,362,062	383,049
			758,169	1,409,618	460,805	711,992	279,507	1,405,821	4,107
			143,700	865,077	668,151	589,512	314,668	242,704	93,221
			46,130	865,077	668,151	589,512	314,668	242,704	93,221
			0	0	0	0	0	0	0
			758,169	1,409,618	460,805	711,992	279,507	1,405,821	4,107
			504,140	1,172,436	1,276,579	1,069,253	1,134,279	558,232	234,170
			1,170,822	3,809,282	2,497,199	2,591,743	1,784,660	2,362,062	383,049
			758,169	1,409,618	460,805	711,992	279,507	1,405,821	4,107
			143,700	865,077	668,151	589,512	314,668	242,704	93,221
			46,130	865,077	668,151	589,512	314,668	242,704	93,221
			0	0	0	0	0	0	0
			758,169	1,409,618	460,805	711,992	279,507	1,405,821	4,107
			504,140	1,172,436	1,276,579	1,069,253	1,134,279	558,232	234,170
			1,170,822	3,809,282	2,497,199	2,591,743	1,784,660	2,362,062	383,049
			758,169	1,409,618	460,805	711,992	279,507	1,405,821	4,107
			143,700	865,077	668,151	589,512	314,668	242,704	93,221
			46,130	865,077	668,151	589,512	314,668	242,704	93,221
			0	0	0	0	0	0	0
			758,169	1,409,618	460,805	711,992	279,507	1,405,821	4,107
			504,140	1,172,436	1,276,579	1,069,253	1,134,279	558,232	234,170
			1,170,822	3,809,282	2,497,199	2,591,743	1,784,660	2,362,062	383,049
			758,169	1,409,618	460,805	711,992	279,507	1,405,821	4,107
			143,700	865,077	668,151	589,512	314,668	242,704	93,221
			46,130	865,077	668,151	589,512	314,668	242,704	93,221
			0	0	0	0	0	0	0
			758,169	1,409,618	460,805	711,992	279,507	1,405,821	4,107
			504,140	1,172,436	1,276,579	1,069,253	1,134,279	558,232	234,170
			1,170,822	3,809,282	2,497,199	2,591,743	1,784,660	2,362,062	383,049
			758,169	1,409,618	460,805	711,992	279,507	1,405,821	4,107
			143,700	865,077	668,151	589,512	314,668	242,704	93,221
			46,130	865,077	668,151	589,512	314,668	242,704	93,221
			0	0	0	0	0	0	0
			758,169	1,409,618	460,805	711,992	279,507	1,405,821	4,107
			504,140	1,172,436	1,276,579	1,069,253	1,134,279	558,232	234,170
			1,170,822	3,809,282	2,497,199	2,591,743	1,784,660	2,362,062	383,049
			758,169	1,409,618	460,805	711,992	279,507	1,405,821	4,107
			143,700	865,077	668,151	589,512	314,668	242,704	93,221
			46,130	865,077	668,151	589,512	314,668	242,704	93,221
			0	0	0	0	0	0	0
			758,169	1,409,618	460,805	711,992	279,507	1,405,821	4,107
			504,140	1,172,436	1,276,579	1,069,253	1,134,279	558,232	234,170
			1,170,822	3,809,282	2,497,199	2,591,743	1,784,660	2,362,062	383,049
			758,169	1,409,618	460,805	711,992	279,507	1,405,821	4,107
			143,700	865,077	668,151	589,512	314,668	242,704	93,221
			46,130	865,077	668,151	589,512	314,668	242,704	93,221
			0	0	0	0	0	0	0
			758,169	1,409,618	460,805	711,992	279,507	1,405,821	4,107
			504,140	1,172,436	1,276,579	1,069,253	1,134,279	558,232	234,170
			1,170,822	3,809,282	2,497,199	2,591,743	1,784,660	2,362,062	383,049
			758,169	1,409,618	460,805	711,992	279,507	1,405,821	4,107
			143,700	865,077	668,151	589,512	314,668	242,704	93,221
			46,130	865,077	668,151	589,512	314,668	242,704	93,221
			0	0	0	0	0	0	0
			758,169	1,409,618	460,805	711,992	279,507	1,405,821	4,107
			504,140	1,172,436	1,276,579	1,069,253	1,134,279	558,232	234,170
			1,170,822	3,809,282	2,497,199	2,591,743	1,784,660	2,362,062	383,049
			758,169</						

COSTOS DEL POZO (\$)												
POZO: Horizontal 3												
Tipo: Perforador												
Talladro: A definir												
Codigo Costo: 360-365												
CC	DESCRIPCIÓN	Profundidad (ft MID)	MOV	17.12'	10,546	13,284	5	13,524	7	DEMOV	MOVPAIDS	TOTAL \$
		Duración (Días)	Estudios & Permisos	8.12'	22	18	5	18	5	DEMOV	MOVPAIDS	TOTAL \$
064971649	Productos de Lodos		0	106,025	163,736	525,414	0	58,024	0	0	0	927,119
064671646	Brocas & Tomadores de núcleos		0	81,600	173,456	42,775	0	77,493	0	0	0	329,958
068071680	Cemento y Aditivos		0	160,227	165,244	21,387	0	21,387	0	0	0	389,653
052711521	Materiales de Revestidores		0	532,277	873,210	146,126	0	19,466	219,296	0	0	1,790,375
062871628	Accesorios de Tubería		0	36,960	36,960	221,760	0	86,240	0	0	0	601,906
1538	Materiales de Completación		0	0	0	0	0	272,950	0	0	0	272,950
063471634	Materiales de Facilidades		0	456,317	0	0	0	383,908	0	0	0	840,226
068771681	Taponos y Puertas		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
052711522	Equipos de Cabezales		0	0	0	0	0	260,323	0	0	0	260,323
053371533	Materiales perdidos en el hueco		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
052571525	Otros materiales Perforación/Comp		0	6,160	7,998	13,552	0	3,080	4,312	8,213	8,213	62,617
69371693	Total de Materiales		0	462,477	1,366,112	1,018,619	265,690	1,434,696	8,213	8,213	5,469,107	5,469,107
065971639	Talladro Mov/Desmov		0	392,975	519,067	879,529	199,892	279,849	0	308,000	0	616,000
064471644	Renta de Equipo de fondo		0	23,994	40,856	33,264	9,240	0	55,440	0	0	107,154
064571645	Renta de Equipo Superficial		0	16,632	38,390	65,050	14,784	20,698	22,176	22,176	0	55,440
065371633	Abastecimiento		0	207,947	352,354	289,289	80,080	14,784	0	0	0	253,128
064771647	Lubricantes/Combustibles		0	789,388	1,337,589	1,094,389	303,996	370,770	786,837	0	0	943,454
065971639	Equipo Contratista Mov/Desmov		0	37,638	0	0	0	0	0	37,638	37,638	112,913
065771631	Helicoptero pesado Mov/Desmov		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
065671636	Helicoptero pesado - Tarilla diaria		0	461,633	393,873	546,049	75,840	212,352	527,581	527,581	0	3,412,302
065771637	Helicoptero liviano - Tarilla diaria		0	46,804	29,735	50,384	11,451	16,031	30,536	30,536	0	255,701
064771641	Combustible		0	143,733	159,959	271,041	49,280	86,240	164,267	164,267	0	1,260,548
063071630	Seguro/Permisos/Aduanas		0	688,808	983,567	989,620	136,571	314,623	760,021	760,021	0	5,041,463
065971639	Medio Ambiente - Seguridad y Permisos		0	52,929	72,776	117,567	2,221	91,363	0	0	0	336,857
062471624	Total de Permisos/Seguro/Aduanas		0	69,481	100,823	140,514	8,595	91,363	0	0	0	410,777
064271642	Ingeniería de Lodos de Perforación		0	23,994	40,856	33,264	9,240	12,936	0	0	0	120,090
068471684	Disposición Rigos y tratamiento		0	0	0	420,513	18,366	0	0	0	0	438,879
065071650	Renta de Equipo Top Drive		0	103,973	176,177	144,144	40,040	0	13,347	13,347	0	504,375
066271662	Cementación y Bombeo		0	47,988	81,312	66,528	18,480	0	6,160	6,160	0	232,788
068271682	Servicios de Revestimiento		0	26,207	25,606	0	0	0	0	0	0	51,813
065771657	Núcleos y similares		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
065271652	Registros Eléctricos y perforaciones		0	0	103,488	97,328	0	394,240	0	0	0	595,056
068371683	Direccionales		0	239,939	375,762	511,282	206,976	0	0	0	0	1,333,959
065371653	Muestras y Control		0	2,983	23,242	39,382	8,950	0	2,983	2,983	0	112,747
068771687	Equipos de fondo		0	1,095	8,531	11,827	3,285	0	460,768	0	0	460,768
065671656	Equipos Superficiales		0	1,095	8,531	11,827	3,285	0	1,095	1,095	0	41,385
1643	Servicios de Completación		0	445,049	142,716	241,824	54,980	76,944	210,585	210,585	0	1,580,518
068571685	Personal y Soporte		0	9,240	9,240	9,240	0	12,320	0	0	0	6,160
063871638	Otros Especialistas		0	758,169	504,140	1,107,904	360,298	963,368	234,170	234,170	0	833,715
068671686	Total de Servicios		0	2,373,033	2,973,363	4,586,760	1,075,150	3,174,820	1,769,242	1,769,242	1,481,242	6,312,253
	Costo Subtotal por Fase		0	758,169	4,901,248	4,586,760	1,075,150	3,174,820	1,769,242	1,769,242	1,481,242	23,113,025
PERFORMACIÓN & COMPLETACIÓN												
	Horizontal 3		MOV	17.12'	12.14'	8.12'	6	5	7	DEMOV	MOVPAIDS	TOTAL \$
	Total de Materiales		0	462,477	1,366,112	1,018,619	265,690	1,434,696	8,213	8,213	5,469,107	5,469,107
	Total de Talladro		0	717,607	1,337,589	1,094,389	303,996	370,770	786,837	786,837	0	5,879,425
	Total de Transporte		0	688,808	988,820	809,033	136,571	314,623	760,021	760,021	0	5,041,463
	Total de Permisos/Seguro/Aduanas		0	69,481	100,823	140,514	8,595	91,363	0	0	0	410,777
	Total de Servicios		0	2,373,033	2,973,363	4,586,760	1,075,150	3,174,820	1,769,242	1,769,242	1,481,242	6,312,253
	Costo Subtotal por Fase		0	758,169	4,901,248	4,586,760	1,075,150	3,174,820	1,769,242	1,769,242	1,481,242	23,113,025

Anexo 12: Costos detallados pozo Horizontal 3 con operaciones Heli-transportables y tratamiento por medio de Biorremediación

COSTOS DEL POZO (\$)										
POZO: Horizontal 3										
Tipo: Productor										
Taladro: A definir										
Codigo Costo: 360-365										
CC	DESCRIPCIÓN	MOV	5,309	10,546	13,284	13,524	7	DESMOV	MOV/PAYS	TOTALS
			17,12	17,12	8,79	8,79	5	COMP		
		Estudios & Permisos								
0649/1649	Productos de Lobos	0	106,025	163,736	402,214	58,024	0	0	0	803,919
0649/1646	Brocas & Tomadores de núcleos	0	61,600	113,409	71,493	21,387	0	0	0	323,958
0680/1680	Cemento y Aditivos	0	160,227	165,244	42,775	21,387	0	0	0	393,633
0821/1821	Materiales de Revestimiento	0	532,277	873,210	146,128	19,488	219,286	0	0	1,790,373
0626/1626	Accesorios de Tuberia	0	36,960	36,960	221,760	86,240	0	0	0	601,906
1538	Materiales de Completación	0	0	0	0	0	0	0	0	272,950
0634/1634	Materiales de Facilidades	0	456,317	0	0	0	0	0	0	840,226
0651/1651	Tapones y Puertes	0	0	0	0	0	0	0	0	260,323
0822/1822	Equipos de Cabezales	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0325/1325	Materiales perdidos en el hueco	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0325/1325	Otros materiales Perforación/Comp	0	7,998	13,552	41,088	3,080	8,213	0	0	62,617
633/1633	Total de Materiales	0	6,160	1,366,112	893,419	263,690	1,434,666	8,213	8,213	5,545,907
0639/1639	Taladro Mov/Desmov	0	462,477	879,529	719,614	199,892	279,849	456,661	456,661	3,906,249
0644/1644	Renta de Equipo de fondo	0	392,975	0	0	0	0	0	0	616,000
0645/1645	Renta de Equipo Superficial	0	23,994	40,856	33,264	9,240	0	0	0	107,154
0633/1633	Abastecimiento	0	38,390	65,050	53,223	14,784	20,698	22,176	22,176	253,128
0647/1647	Lubricantes/Combustibles	0	207,947	352,354	288,289	80,080	14,784	0	0	943,454
0639/1639	Total de Taladro	0	717,607	1,337,589	1,094,389	303,996	370,770	786,837	478,837	5,879,423
0639/1639	Equipo Contratista Mov/Desmov	0	181,371	0	0	0	0	126,342	126,342	434,054
0631/1631	Helicoptero pesado Mov/Desmov	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0639/1639	Helicoptero pesado - Tarifa diaria	0	400,082	234,041	396,570	45,085	126,181	445,513	445,513	2,417,430
0637/1637	Helicoptero liviano - Tarifa diaria	0	45,804	297,315	50,394	11,451	16,031	30,536	30,536	295,701
0641/1641	Combustible	0	143,733	159,959	221,041	49,280	86,240	164,267	164,267	1,260,548
0630/1630	Total de Transporte	0	770,990	423,736	717,995	587,450	105,795	228,452	766,657	4,367,733
0630/1630	Seguro/Permisos/Aduanas	0	52,929	72,176	83,071	2,221	91,363	0	0	302,361
0659/1659	Medio Ambiente - Seguridad y Permisos	0	0	16,552	28,047	6,374	0	0	0	73,920
0624/1624	Total de Permisos/Seguro/Aduanas	0	69,481	100,823	106,018	8,959	91,363	0	0	320,281
0642/1642	Ingeniería de Lobos de Perforación	0	23,994	40,856	33,264	9,240	12,936	0	0	120,090
0644/1644	Disposición Rigos y tratamiento	0	38,390	65,050	186,893	32,635	20,698	0	0	343,666
0650/1650	Renta de Equipo Top Drive	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0650/1650	Control de Solides	0	103,973	176,177	144,144	40,040	0	13,347	13,347	504,375
0662/1662	Cementación y Bombeo	0	6,160	47,988	66,528	18,480	0	6,160	6,160	232,788
0657/1657	Servicios de Revestimiento	0	26,207	25,606	0	0	0	0	0	51,813
0652/1652	Núcleos y similares	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0683/1683	Registros Electricos y perforaciones	0	0	103,488	97,328	0	394,240	0	0	595,056
0653/1653	Muestras y Control	0	239,939	375,762	511,282	206,976	0	0	0	1,333,959
0687/1687	Equipos de fondo	0	2,983	23,242	32,222	8,950	0	2,983	2,983	112,747
0656/1656	Equipos Superficiales	0	1,095	14,456	11,827	3,285	0	460,768	0	460,768
1643	Servicios de Completación	0	0	0	0	0	0	6,160	0	6,160
0695/1695	Personal y Soporte	0	445,049	142,716	197,856	54,960	76,944	210,585	210,585	1,580,518
0638/1638	Otros Especialistas	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0696/1696	Personal de Perforación - Campo	0	9,240	9,240	9,240	0	12,320	0	0	833,715
Total de Servicios		0	504,140	664,220	1,172,954	374,567	984,065	234,170	234,170	6,217,041
Costo Subtotal por Fase		0	2,455,215	2,851,922	4,695,473	3,973,861	1,058,643	3,109,346	1,795,878	22,186,386
PERFORACIÓN & COMPLETACIÓN										
Horizontal 3										
Total de Materiales		0	462,477	905,066	1,366,112	893,419	263,690	1,434,666	8,213	5,545,907
Total de Taladro		0	717,607	789,398	1,337,589	1,094,389	303,996	370,770	766,837	5,879,423
Total de Transporte		0	770,990	423,736	717,995	587,450	105,795	228,452	766,657	4,367,733
Total de Permisos/Seguro/Aduanas		0	69,481	100,823	106,018	8,959	91,363	0	0	376,281
Total de Servicios		0	504,140	664,220	1,172,954	1,290,585	374,567	984,065	234,170	6,217,041
Subtotal Cost per Phase		0	2,455,215	2,851,922	4,695,473	3,973,861	1,058,643	3,109,346	1,795,878	22,186,386

Anexo 13: Costos detallados pozo Horizontal 3 con operaciones Heli-transportables y tratamiento por medio de Desorción Térmica



COSTOS DEL POZO (\$)												
POZO: Horizontal 3												
Tipo: Perforador												
Taladro: A definir												
Codigo Costo: 300-365												
Profundidad (ft MD)												
CC	DESCRIPCIÓN	MOV	17 02	12 04	10,546	13,284	18	5	7	DESMOV	MOVPAIS	TOTAL \$
	Estudios & Permisos		17 02	12 04		8 02	5	7	DESMOV	MOVPAIS	TOTAL \$	
0649/1649	Productos de Lodos	0	106,025	163,736	402,274	58,024	73,920	0	0	0	0	803,919
0646/1646	Brocas & Tomadores de núcleos	0	61,600	113,409	71,456	21,387	0	0	0	0	0	323,958
0680/1680	Cemento y Aditivos	0	180,227	165,244	42,775	19,486	215,296	0	0	0	0	389,633
0521/1521	Materiales de Revestimientos	0	3,32,277	873,210	146,128	79,466	86,240	219,986	0	0	0	1,790,375
0628/1628	Accesorios de Tubería	0	36,960	36,960	221,760	86,240	219,986	0	0	0	0	601,906
1338	Materiales de Completación	0	0	0	0	0	272,950	0	0	0	0	272,950
0634/1634	Materiales de Facilitación	0	456,317	0	0	0	0	383,908	0	0	0	840,226
0681/1681	Tapones y Puentes	0	0	0	0	0	0	260,323	0	0	0	260,323
0539/1539	Equipos de Cabezales	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0529/1529	Equipos de Perforación	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0529/1525	Materiales perdidos en el hueco	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0529/1525	Otros materiales Perforación/Comp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
693/1693	Total de Materiales	0	4,107	7,998	13,552	11,088	3,080	4,312	4,107	4,107	4,107	52,350
0639/1639	Taladro - Tarifa diaria	0	460,424	905,086	1,366,112	895,419	265,690	4,107	4,107	4,107	4,107	5,335,640
0644/1644	Taladro Mov/Desmov	0	1,32,612	239,939	406,562	332,641	92,400	129,360	82,133	82,133	82,133	1,497,781
0645/1645	Renta de Equipo de fondo	0	0	23,994	40,656	33,264	9,240	0	0	0	0	107,154
0633/1633	Abastecimiento	0	11,088	38,390	65,050	53,223	14,784	20,698	11,088	11,088	11,088	55,440
0647/1647	Lubricantes/Combustibles	0	0	207,947	352,354	286,269	80,080	14,764	0	0	0	225,408
0631/1631	Equipo Contratista Mov/Desmov	0	143,700	510,270	864,622	707,417	196,504	220,282	93,221	93,221	93,221	2,829,237
0631/1631	Helicóptero pesado Mov/Desmov	0	461,130	19,195	32,525	26,611	7,392	10,349	35,124	35,124	35,124	212,451
0637/1637	Helicóptero liviano - Tarifa diaria	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0641/1641	Combustible	0	16,427	31,992	54,208	44,352	12,320	17,288	16,427	16,427	16,427	209,400
0659/1659	Total de Transporte	0	62,557	51,187	86,733	70,963	19,712	27,597	51,551	51,551	51,551	421,651
0630/1630	Seguro/Permisos/Aduanas	0	52,929	72,776	83,071	2,221	2,221	91,363	0	0	0	302,361
0659/1659	Medio Ambiente - Seguridad y Permisos	0	16,552	28,047	22,947	6,374	0	0	0	0	0	73,920
0624/1624	Total de Permisos/Seguro/Aduanas	0	69,481	100,823	106,018	8,595	8,595	91,363	0	0	0	376,281
0642/1642	Ingeniería de Lobos de Perforación	0	0	40,856	33,264	9,240	12,936	0	0	0	0	120,090
0684/1684	Disposición Riptos y tratamiento	0	38,390	65,050	186,893	32,635	20,698	0	0	0	0	343,666
0650/1650	Renta de Equipo Top Drive	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0682/1682	Control de Sólidos	0	13,347	103,973	176,177	144,144	40,040	0	13,347	13,347	13,347	504,375
0652/1652	Cementación y Bombeo	0	6,160	47,988	81,312	66,528	18,480	0	6,160	6,160	6,160	232,788
0657/1657	Servicios de Revestimiento	0	26,207	25,606	0	0	0	0	0	0	0	51,813
0683/1683	Núcleos y similares	0	0	103,488	97,328	0	0	394,240	0	0	0	595,056
0653/1653	Registros Eléctricos y perforaciones	0	239,939	375,762	511,282	206,976	0	0	0	0	0	1,333,959
0687/1687	Muestras y Control	0	2,983	23,242	39,382	32,222	8,950	0	2,983	2,983	2,983	112,747
0656/1656	Equipos de fondo	0	1,095	8,531	14,456	11,827	3,285	0	460,768	0	0	460,768
1643	Equipos Superficiales	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41,385
0695/1695	Servicios de Completación	0	446,049	142,716	241,824	197,856	54,960	6,160	6,160	6,160	6,160	1,580,518
0638/1638	Personal y Soporte	0	0	9,240	9,240	0	0	12,320	0	0	0	33,715
0696/1696	Personal de Perforación - Campo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0696/1696	Otros Especialistas	756,169	504,140	664,220	1,172,954	374,567	984,065	234,170	234,170	234,170	234,170	6,217,041
	Total de Servicios	756,169	504,140	664,220	1,172,954	374,567	984,065	234,170	234,170	234,170	234,170	6,217,041
	Costo Subtotal por Fase	756,169	1,170,822	2,200,244	3,591,244	3,070,402	865,068	2,758,002	383,049	383,049	383,049	15,180,050
PERFORACIÓN & COMPLETACIÓN												
	Estudios & Permisos	MOV	17 02	12 04	10,546	13,284	18	5	7	DESMOV	MOVPAIS	TOTAL \$
	Horizontal 1	0	460,424	905,086	1,366,112	895,419	265,690	4,107	4,107	4,107	4,107	5,335,640
	Total de Materiales	0	460,424	905,086	1,366,112	895,419	265,690	4,107	4,107	4,107	4,107	5,335,640
	Total de Taladro	0	143,700	510,270	864,622	707,417	196,504	220,282	93,221	93,221	93,221	2,829,237
	Total de Transporte	0	62,557	51,187	86,733	70,963	19,712	27,597	51,551	51,551	51,551	421,651
	Total de Permisos/Seguro/Aduanas	0	69,481	100,823	106,018	8,595	8,595	91,363	0	0	0	376,281
	Total de Servicios	756,169	504,140	664,220	1,172,954	374,567	984,065	234,170	234,170	234,170	234,170	6,217,041
	Costo Subtotal por Fase	756,169	1,170,822	2,200,244	3,591,244	3,070,402	865,068	2,758,002	383,049	383,049	383,049	15,180,050

Anexo 15: Costos detallados pozo Horizontal 3 con operaciones Terrestres y tratamiento por medio de Desorción Térmica

