

**RECUPERACIÓN DE LOS HIDROCARBUROS PRESENTES EN LOS RESIDUOS Y PASIVOS
AMBIENTALES GENERADOS POR LAS ACTIVIDADES PROPIAS DE LA INDUSTRIA
PETROLERA POR MEDIO DE DESORCIÓN TÉRMICA**

MARTHA LUCIA CARRILLO BONILLA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETROLEOS
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE HIDROCARBUROS
BUCARAMANGA**

2013

**RECUPERACIÓN DE LOS HIDROCARBUROS PRESENTES EN LOS RESIDUOS Y PASIVOS
AMBIENTALES GENERADOS POR LAS ACTIVIDADES PROPIAS DE LA INDUSTRIA
PETROLERA POR MEDIO DE DESORCIÓN TÉRMICA**

MARTHA LUCIA CARRILLO BONILLA

**Trabajo de Grado para optar al Título de
Especialista en Gerencia de Hidrocarburos**

Director

SAMUEL FERNANDO MUÑOZ NAVARRO

Ingeniero de Petróleos, Magíster en Ingeniería de Hidrocarburos

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE HIDROCARBUROS
BUCARAMANGA**

2013

DEDICATORIA

A Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo este tiempo.

A mis padres por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo.

AGRADECIMIENTOS

A Dios quien me ha guiado y dado la fortaleza para seguir adelante.

A todo el grupo de catedráticos por quienes he llegado a obtener todos los conocimientos para llegar a elaborar este documento y por compartir todas sus experiencias laborales dentro del aula de clase.

A Andrés por brindarme apoyo permanente. Todo este trabajo ha sido posible gracias a tu colaboración.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	14
JUSTIFICACIÓN	15
1.PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
2.ALCANCE	16
3.OBJETIVOS	17
3.1.OBJETIVO GENERAL	17
3.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
4.MARCO TEÓRICO	18
4.1.CONTAMINACIÓN POR HIDROCARBUROS	18
4.1.1.Impactos sobre el suelo	19
4.1.2.Impactos sobre el agua.....	20
4.2.GENERACIÓN DE RESIDUOS EN LA INDUSTRIA PETROLERA	20
4.3.TECNOLOGÍAS PARA EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS ACEITOSOS	23
4.3.1.Tratamiento Biológico - Biorremediación	24
4.3.2.Tratamiento Físico/Químico.....	26
4.3.3.Tratamiento Térmico – Desorción Térmica.....	26
4.4.CONCEPTOS ECONÓMICOS	29
4.4.1.Evaluación Económica.....	29
4.4.2.Métodos básicos para evaluación de Proyectos	29
4.4.3.Otros Conceptos	31
4.5.MARCO LEGAL	32
5.LINEAMIENTOS BÁSICOS	34
5.1.ASPECTOS TÉCNICOS	34
5.1.1.Proceso de Desorción Térmica.....	34
5.1.2.Residuos susceptibles a tratar por LTTD.....	34
5.1.3.Eficiencia en la recuperación de aceite	37
5.2.ASPECTOS ECONÓMICOS	37
5.3.CASO BASE	38
5.3.1.Tratamiento Ex Situ.....	38
5.3.2.Composición de los residuos	38
5.3.3.Volumen de residuos a tratar	39

6.EVALUACIÓN TÉCNICA	40
6.1.DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL PROCESO DE DESORCIÓN TÉRMICA	40
6.2.PROVEEDOR EXTRANJERO.....	42
6.3.PROVEDOR NACIONAL.....	43
6.4.ANÁLISIS DE ASPECTOS TÉCNICOS	44
7.EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	46
7.1.INGRESOS OPERACIONALES.....	46
7.2.PROVEEDOR EXTRAJERO	47
7.2.1.CAPEX 47	
7.2.2.OPEX 47	
7.2.3.INDICADORES	48
7.3.PROVEEDOR NACIONAL	49
7.3.1.CAPEX 49	
7.3.2.OPEX 50	
7.3.3.INDICADORES	51
7.4.VALOR AGREGADO DEL PROCESO.....	51
7.5.ANÁLISIS DE ASPECTOS ECONÓMICOS.....	52
CONCLUSIONES	54
BIBLIOGRAFIA	56

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición de residuos aceitosos susceptibles a la aplicación del proceso de Desorción Térmica	37
Tabla 2. Premisas Base para la elaboración de la Evaluación Económica del Proyecto.....	37
Tabla 3. Composición Residuos para Caso Base.....	39
Tabla 4. Volumen de Residuos a tratar por Desorción Térmica – Caso Base.....	39
Tabla 5. Ingresos Operacionales Anuales Proyectados – Caso Base	46
Tabla 6. Inversión Total – Proveedor Extranjero.....	47
Tabla 7. Costos Operacionales Mensuales – Proveedor Extranjero	48
Tabla 8. Indicadores Financieros – Proveedor Extranjero.....	49
Tabla 9. Inversión Total – Proveedor Nacional.....	50
Tabla 10. Costos Operacionales Mensuales – Proveedor Nacional.....	50
Tabla 11. Indicadores Financieros – Proveedor Nacional.....	51
Tabla 12. Valor Agregado – Recuperación de Hidrocarburos	52

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Procesos que influyen en el destino y transporte de un contaminante (C) durante su infiltración vertical</i>	<i>18</i>
<i>Figura 2. Generación de residuos en la Industria Petrolera</i>	<i>21</i>
<i>Figura 3. Impactos ambientales generados por piscinas de campos petroleros</i>	<i>22</i>
<i>Figura 4. Biorremediación de lodos aceitosos.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 5. Proceso de Desorción Térmica con Recuperación de hidrocarburos.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 6. Corriente de interés para aplicar la Desorción Térmica</i>	<i>36</i>
<i>Figura 7 Proceso de Desorción Térmica – Proveedor Extranjero</i>	<i>43</i>
<i>Figura 8. Proceso de Desorción Térmica - Proveedor Nacional.....</i>	<i>43</i>

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A EVALUACION EN EXCEL I.....	59
ANEXO B EVALUACION EN EXCEL II	60

RESUMEN

TITULO: RECUPERACIÓN DE LOS HIDROCARBUROS PRESENTES EN LOS RESIDUOS Y PASIVOS AMBIENTALES GENERADOS POR LAS ACTIVIDADES PROPIAS DE LA INDUSTRIA PETROLERA POR MEDIO DE DESORCIÓN TÉRMICA*

AUTOR: MARTHA LUCIA CARRILLO BONILLA**

PALBRAS CLAVES: Residuos aceitosos, Recuperación de hidrocarburos, Desorción Térmica.

En Colombia las compañías relacionadas con el sector petrolero, tienen la obligación de tratar los residuos contaminados con hidrocarburos en la búsqueda del cumplimiento de la normatividad ambiental vigente y con el propósito de evitar impactos ambientales negativos en el sector influenciado. La exploración, perforación, producción y transporte, actividades principales asociadas a la industria del petróleo, generan una serie de desechos contaminados con hidrocarburos tales como lodos, tierra, ripios, borras, entre otros, los cuales deben recibir el manejo, transporte, tratamiento y disposición final adecuada para no alterar el equilibrio del medio ambiente.

Desde hace algún tiempo, se ha buscado un método viable, rentable y eficiente para tratar y recuperar los hidrocarburos contenidos en estos residuos aceitosos y pasivos ambientales que permita optimizar recursos, proteger el medio ambiente y darle un valor agregado al tratamiento de los mismos, estas ventajas las ofrece el proceso de Desorción Térmica.

Este trabajo de monografía abordará los aspectos técnicos y económicos del proceso de Desorción Térmica para la recuperación de los hidrocarburos presentes en los residuos aceitosos y pasivos generados por las actividades propias de la industria petrolera en el país con el objeto de determinar la factibilidad técnica y económica para ejecutar este proceso térmico.

* Monografía para optar por el título de Especialista en Gerencia de Hidrocarburos.

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, Escuela de Ingeniería de Petróleos,
Director: Ing. Samuel Fernando Muñoz Navarro

ABSTRACT

TITLE: HYDROCARBON RECOVERY BY THERMAL DESORPTION FROM OILY WASTE AND ENVIRONMENTAL LIABILITIES GENERATED IN OIL INDUSTRY.*

AUTHOR: MARTHA LUCIA CARRILLO BONILLA**

KEY WORDS: Oily Waste, Hydrocarbon recovery, Thermal Desorption.

Colombian Companies related with the Oil Industry, have the obligation to treat oily waste to compliance the current environmental regulation in order to avoid negative environmental impacts in the influenced areas. The exploration, drilling, production and transportation, major activities associated with the Oil Industry, generate oily waste such as mud, soil, gravel, among others like environmental liabilities from past activities. These wastes should be the handled, treated and properly disposed to avoid altering the balance of the environment and to accomplish the requirements of the environmental license granted to develop these oil industry activities.

Companies in all over the world, have been looking for several years a viable and efficient method to recover the percentage of hydrocarbons contained in oily waste and environmental liabilities to optimize resources, protect the environment, meet the standards and add value to their treatment, these advantages are offered by the Therrmal Desorption process.

This paper aims to study the technical and economic aspects of Thermal Desorption process for recovering the total percentage of hydrocarbons from oily waste and Environmental liabilities; and determine its executing viability in the Country. In this way, this document will show the most relevant aspects to be taken into account for the startup of a Thermal Desorption plant in Colombia.

* Work Degree Specialization in Oil Management

** Physicochemical Engineering Faculty, College of Petroleum Engineering,
Director: Samuel Fernando Muñoz Navarro

INTRODUCCIÓN

La exploración, perforación, producción y transporte de hidrocarburo, los servicios, labores y situaciones de orden público asociadas a estas actividades, generan una serie de desechos contaminados con hidrocarburos que deben recibir el manejo, transporte, tratamiento y disposición adecuada para minimizar los impactos negativos en el medio ambiente del área influenciada.

Una de las opciones más utilizadas para el tratamiento de este tipo de residuos en Colombia es la Biorremediación, esta técnica permite metabolizar por medio de bacterias los hidrocarburos presentes en los residuos aceitosos, sin embargo, dentro de sus desventajas está el tiempo y el área necesaria para su tratamiento; además, esta técnica no permite la recuperación y reutilización del hidrocarburo contenido en estos.

Hace algunos años en el ámbito mundial se ha venido discutiendo sobre la Desorción Térmica, una técnica que permite el tratamiento de residuos aceitosos y la recuperación del hidrocarburo presente en estos. En Colombia son pocas las empresas que cuentan con un equipo de estas características o que prestan este servicio, lo que ha generado un boom en el país alrededor de este método de tratamiento debido principalmente a los pasivos ambientales y derrames de crudo que existen por diversas situaciones en el país.

Con el propósito de alcanzar el objetivo planteado en este trabajo de grado, este documento abarcará el estudio técnico y económico de dos (2) plantas de Desorción Térmica ofrecidas en el mercado internacional y nacional para determinar la viabilidad de la puesta en marcha de cada una de estas en el país.

JUSTIFICACIÓN

Debido principalmente a la presencia de pasivos ambientales y derrames de crudo que existen por diversas situaciones en el país y al boom actual de la industria petrolera por el cual se prevé un aumento en la generación de residuos contaminados con hidrocarburo, se ha venido discutiendo e investigando diferentes alternativas para tratar adecuadamente este tipo de residuos, que minimicen el tiempo de tratamiento y que además aporten ventajas tecnológicas a este tipo de procedimientos.

Teniendo en cuenta estas premisas, la Desorción Térmica es un proceso que ofrece grandes ventajas en cuanto al volumen de residuos que se puede tratar en corto tiempo y la posibilidad de recuperar el aceite involucrado, lo cual beneficia en gran medida a las compañías que ejecuten esta técnica. Implementando este método de tratamiento, se espera obtener un valor agregado al recuperar el aceite dentro de parámetros que permitan su reutilización en otras actividades o procesos.

Para realizar la implementación de esta técnica, es necesario elaborar una evaluación técnico/económica para determinar la viabilidad y rentabilidad de la instalación y puesta en marcha de un sistema de Desorción Térmica en el país, teniendo en cuenta los parámetros establecidos en la normatividad ambiental colombiana y las necesidades del mercado.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Colombia, las compañías relacionadas con el sector petrolero tienen la obligación de tratar los residuos contaminados con hidrocarburos, para dar cumplimiento a la normatividad ambiental y evitar impactos ambientales negativos. Las actividades principales asociadas a la industria del petróleo, generan una serie de desechos contaminados con hidrocarburos que deben recibir el manejo, transporte, tratamiento y disposición adecuada para no alterar el equilibrio del medio ambiente.

Actualmente la Biorremediación (Tratamiento por medio de bacterias), es una de las opciones más utilizadas para el manejo de este tipo de residuos en Colombia, sin embargo, debido a la acumulación de pasivos ambientales, derrames de crudo y aumento en la exploración petrolera, poco a poco se han ampliado las alternativas en este tipo de tratamientos las cuales tiene ventajas técnicas, ambientales, de logística y económicas sobre los procesos biológicos. (Biorremediación).

El proceso de Desorción Térmica, como una alternativa para tratar los residuos aceitosos, ofrece dentro de sus ventajas más considerables: la disminución en el tiempo de tratamiento, el manejo de grandes volúmenes y la recuperación de un gran porcentaje del hidrocarburo contenido en estos residuos como valor agregado al tratamiento. Por lo tanto es importante evaluar la viabilidad Técnico/Económica de la puesta en marcha de un equipo de Desorción Térmica.

2. ALCANCE

Esta monografía tiene como propósito estudiar los aspectos técnicos y económicos del proceso de Desorción Térmica para la recuperación de los hidrocarburos presentes en los residuos aceitosos y pasivos generados por las actividades propias de la industria petrolera en el país y así determinar la viabilidad de ejecutar este proceso.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Estudiar la viabilidad técnico/económica del proceso de Desorción Térmica para la recuperación del hidrocarburo presente en los residuos aceitosos y pasivos ambientales generados por las actividades propias del sector petrolero.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

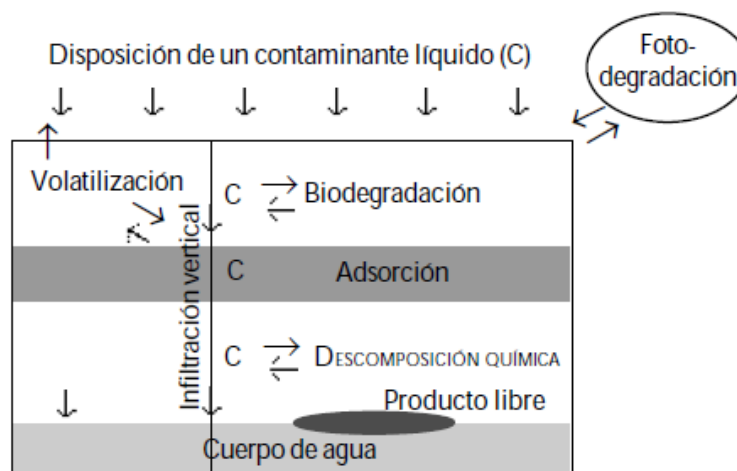
1. Describir detalladamente el proceso y aplicaciones de la Desorción Térmica para el tratamiento de residuos aceitosos y la recuperación de los hidrocarburos presentes en estos.
2. Identificar cual es la configuración del equipo de Desorción Térmica que mejor cumple con los requerimientos técnicos y normatividad ambiental Colombiana, teniendo en cuenta los equipos ofrecidos en el mercado.
3. Determinar e identificar los tipos de residuos aceitosos y la composición para los cuales es susceptible la aplicación del proceso de Desorción Térmica.
4. Realizar, para un caso base, la evaluación económica de la puesta en marcha de un equipo de Desorción Térmica en el país y determinar su viabilidad

4. MARCO TEÓRICO

4.1 CONTAMINACIÓN POR HIDROCARBUROS

El crudo, los subproductos y los residuos de la industria petrolera liberados al ambiente sufren con el tiempo procesos de intemperización. Estos procesos incluyen, entre otros, volatilización, transferencia a la fase acuosa, oxidación química y degradación microbiológica. La velocidad de transformación depende principalmente de las condiciones ambientales.¹

Cada proceso de intemperización afecta a las familias de hidrocarburos de manera diferente. Los aromáticos tienden a ser más solubles en agua que los alifáticos, mientras que estos últimos tienden a ser más volátiles. Dentro de los compuestos aromáticos, los BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno) tienen una solubilidad en agua bastante significativa. Los cuerpos de agua contaminados por petróleo suelen estar enriquecidos por estos compuestos en relación con las otras fracciones de petróleo. Otros hidrocarburos relativamente insolubles en agua pueden transferirse al agua a través de la adsorción a partículas suspendidas en la fase acuosa o como aglomeraciones de gotas muy pequeñas. (Pellini 2006)



Fuente: Tecnologías de remediación para suelos contaminados. 2002

Figura 1. Procesos que influyen en el destino y transporte de un contaminante (C) durante su infiltración vertical

¹ PELLINI, Leandro. Biorremediación estimulada por efluentes cloacales tratados de suelos contaminados con hidrocarburos. Argentina 2006.

El petróleo crudo, así como sus fracciones, son mezclas complejas y las características estructurales de cada grupo de compuestos, determinarán la velocidad y viabilidad de su degradación. Usualmente la fracción más liviana de los hidrocarburos es más rápidamente degradada que la fracción más pesada, siendo en general mineralizada, es decir, completamente convertida en dióxido de carbono (CO₂) y agua. El factor limitante para que lo mismo ocurra con las fracciones más pesadas, suele ser el escaso grado de solubilización del compuesto y su lenta liberación.

En la actividad petrolera, las disposiciones y el manejo habitual de hidrocarburos y combustibles, en algunos casos conlleva a la contaminación cuando tanques, oleoductos y diversas instalaciones sufren pérdidas por múltiples y diferentes razones. Los líquidos migran hacia el suelo y subsuelo (zona vadosa), hacia al agua subterránea (zona saturada – acuífero) o superficialmente hacia un bajo topográfico o curso de agua.²

El petróleo en el suelo o agua, que pasa a considerarse como un contaminante, se convierte en un riesgo para la salud humana y el ecosistema. En algunos casos, la contaminación no solo provoca problemas de toxicidad, sino que además puede ocasionar grandes riesgos de accidentes por explosión debido a las acumulaciones de gases.

4.1.1 Impactos sobre el suelo

La contaminación por hidrocarburos provoca la destrucción de los microorganismos del suelo, produciéndose un desequilibrio ecológico general debido al cambio en su estructura, aumento en la retención del agua en la capa superficial, aumento del Carbono, Magnesio, Hierro, Fosforo así como la disminución del pH y contaminación de mantos acuíferos.

Según las características del suelo, el petróleo se adherirá o penetrará con mayor o menor fuerza y por tanto permanecerá mayor o menor tiempo en ese ambiente, por lo que en general se tiene³:

² BRISSIO, Pedro Augusto. Evaluación preliminar del estado de contaminación en suelos de la provincia del Neuquén donde se efectúan actividades de explotación hidrocarburífera. Argentina 2005

³ CARDONA Vanessa, RODRIGUEZ Neder. Propuesta para el diseño e implementación de un esquema de manejo, tratamiento integral y recuperación de crudo, aguas para reinyección y salmueras para reutilización, de los residuos aceitosos, generados por la operación del Campo Petrolero. Bucaramanga. 2011

- *Suelos Arenosos*: El petróleo penetra con rapidez, en mayor cantidad y a mayor profundidad.
- *Suelos Arcillosos*: No penetra con facilidad, penetra en poca cantidad y a poca profundidad, por lo cual se puede retirar de manera rápida.
- *Suelos con alto contenido orgánico*: El petróleo se adhiere fuertemente a las partículas y restos vegetales de tal manera que permanece más tiempo en el ambiente.

4.1.2 Impactos sobre el agua

En el caso de contaminación del agua con hidrocarburos, los componentes pesados del petróleo tienden a hundirse en los sedimentos, afectando fundamentalmente a los organismos que viven en el fondo de los ríos y de los lagos, mientras que los componentes más livianos o volátiles se evaporarán y serán depositados en otras partes por la lluvia. Debido a que el crudo es más liviano que el agua, permanece por mucho tiempo en el agua sin descomponerse, convirtiéndose en una constante fuente de contaminación.

Un río afectado por un derrame de crudo pierde toda su capacidad de sostener la flora y fauna acuática, muchas de las sustancias que contiene el crudo se depositan en los sedimentos y son de difícil degradación y fácilmente bioacumulables.⁴

4.2 GENERACIÓN DE RESIDUOS EN LA INDUSTRIA PETROLERA

Durante las diferentes etapas y actividades que hacen parte de la industria del petróleo, se identifica una generación de residuos asociada, como se observa en la *Figura 2*. Al hablar específicamente de generación de residuos aceitosos, se pueden considerar como principales fuentes de contaminación:⁵

Lodos y cortes de perforación: Estos lodos y cortes base aceite, contienen un tipo de hidrocarburo muy similar al diesel y son sumamente arcillosos. Este material se deposita en piscinas de almacenamiento, algunas veces temporal, en las cuales existe el riesgo de filtraciones al medio ambiente.

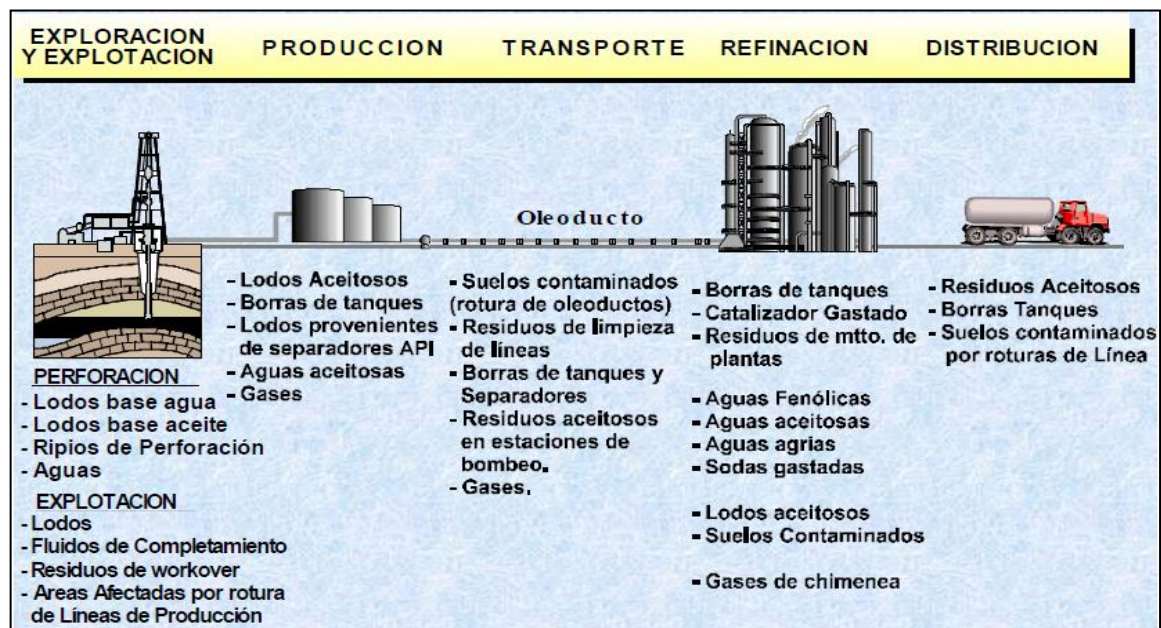
⁴ CARDONA Vanessa, RODRIGUEZ Neder. Propuesta para el diseño e implementación de un esquema de manejo, tratamiento integral y recuperación de crudo, aguas para reinyección y salmueras para reutilización, de los residuos aceitosos, generados por la operación del Campo Petrolero. Bucaramanga. 2011

⁵ BENAVIDES J, QUINTERO G, GUEVARA A, JAIMES D, GUTIERREZ S, MIRANDA J. Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos derivados del petróleo. Bogotá 2006.

Suelo contaminado por derrames: Existen campos petroleros con alrededor de 50 años de antigüedad, ubicados en zonas pantanosas, manglares o selvas inundables, los ductos de estos se instalaron conectando los pozos individuales a baterías de separación y desde ahí hasta las petroquímicas y refinería, generándose corrosión anaerobia, debido principalmente a bacterias reductoras de sulfato dando como resultado ductos corroídos y derramamientos de crudo. Además de esto, se debe tener muy en cuenta que en Colombia, por situaciones de orden público, se presentan frecuentes derrames de petróleo por explosiones y voladuras en las líneas de los oleoductos.

Residuos de Facilidades de Producción: Sólidos y depósitos de equipos que hacen parte de las facilidades de producción, tales como separadores, skimmers, decantadores, entre otras vasijas. Lodos aceitosos depositados en piscinas que hacen parte del proceso de producción de estaciones y antiguas subestaciones.

Descargas petroquímicas y refinerías: Estos tienen sistemas antiguos de tratamiento de aguas residuales, las cuales generalmente contienen sales de los yacimientos de petróleo, lo que puede afectar los pantanos y cuerpos de agua.



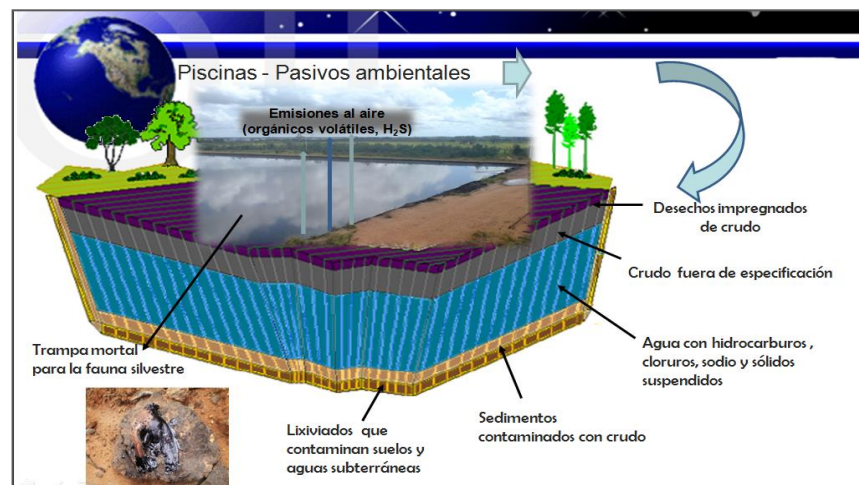
Fuente: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/acodal/xxi.pdf>

Figura 2. Generación de residuos en la Industria Petrolera

Mantenimiento y limpieza de tanques y equipos: Debido al tamaño de los tanques donde se almacena petróleo, los mantenimientos y la limpieza de estos genera una gran cantidad de borras aceitosas, las cuales son sedimentos que se acumulan en el fondo de los tanques reduciendo el volumen de almacenamiento para el cual fueron diseñados.⁶

Pasivos Ambientales: La Environmental Protection Agency -EPA-, define pasivo ambiental como una obligación de incurrir en un costo futuro, como consecuencia de una actividad o conducta, realizada en el presente o el pasado que puede afectar el ambiente de manera adversa.

En el caso de la industria petrolera, un pasivo ambiental es una deuda generada por una obligación legal, administrativa, contractual o judicial, ya sea impuesta o incluso asumida de manera voluntaria y unilateral, dentro del marco de un contrato de exploración o producción y que implica pagar, compensar, manejar, reparar, prevenir o mitigar los efectos ambientales negativos causados por una persona natural o jurídica en el desarrollo de un proyecto, obra o actividad, que ha superado el límite establecido, representando un riesgo actual o potencial, conocido o imprevisto⁷.



Fuente: Presentación Comercial - PRECCO SAS

Figura 3. Impactos ambientales generados por piscinas de campos petroleros

Un impacto actual o un riesgo potencial, puede convertirse en un futuro en pasivo ambiental, en el momento en que el área concesionada sea devuelta a la nación o abandonada o cuando se presente una situación contingente. El volumen de los pasivos Ambientales en Colombia es difícil

⁶ SUAREZ, Lina María. Desarrollo de un método químico para recuperación de crudo a partir de las borras generadas en los procesos de mantenimiento de tanques y tuberías en distritos de producción petroleros de Colombia. Bogotá 2011.

⁷ GARZON, Carlos Alberto. Hacia una política de gestión integral de pasivos ambientales en Colombia. Bogotá. 2012

de cuantificar, debido a que son residuos que han estado acumulados sin tratamiento por algún tiempo y estos datos se mantienen, en algunos casos, confidenciales en las compañías.

Teniendo en cuenta lo anterior, se hace necesaria la aplicación de las diferentes técnicas de tratamiento o remediación de estos contaminantes, generados por la industria petrolera, presentes en el medio ambiente.

4.3 TECNOLOGÍAS PARA EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS ACEITOSOS

El término *tecnología de tratamiento* implica cualquier operación unitaria o serie de operaciones unitarias que altera la composición de una sustancia peligrosa o contaminante a través de acciones químicas, físicas o biológicas de manera que reduzcan la toxicidad, movilidad o volumen del material contaminado.⁸ El uso de una tecnología de remediación en particular depende, además de los factores específicos del sitio y de las propiedades fisicoquímicas del contaminante, de su disponibilidad, la fiabilidad demostrada o proyectada, de su estado de desarrollo (laboratorio, escala piloto o gran escala) y de su costo. Según Sepúlveda y Velasco (2002), las tecnologías de remediación pueden clasificarse de diferentes maneras, con base en los siguientes principios:

Estrategia de remediación: Son tres estrategias básicas que pueden usarse separadas o en conjunto, para remediar la mayoría de los sitios contaminados:

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

Lugar: Según donde se realiza la remediación. En general, se distinguen dos tipos de tecnologías:

- In situ. Son las aplicaciones en las que el suelo contaminado es tratado, o bien, los contaminantes son removidos del suelo, sin necesidad de excavar el sitio. Es decir, se realizan en el mismo sitio en donde se encuentra la contaminación.

⁸ SEPULVEDA, Tania y VELASCO, Juan Antonio. Tecnologías de remediación para suelos contaminados. Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT). México 2002.

- Ex situ. Requiere de excavación, dragado o cualquier otro proceso para remover el suelo contaminado antes de su tratamiento que puede realizarse en el mismo sitio (*on site*) o fuera de él (*off site*).

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

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

4.3.1 Tratamiento Biológico - Biorremediación

La tecnología de tratamiento más utilizada en Colombia para tratar residuos contaminados con hidrocarburos es la *Biorremediación*. El término Biorremediación se utiliza para describir una variedad de sistemas que utilizan organismos vivos (plantas, hongos, bacterias, etc.) para degradar, transformar o remover compuestos orgánicos tóxicos a productos metabólicos inocuos o menos tóxicos. Esta estrategia biológica depende de las actividades catabólicas de los organismos, y por consiguiente de su capacidad para utilizar los contaminantes como fuente de alimento y energía. El proceso de Biorremediación incluye reacciones de oxidación-reducción, procesos de intercambio iónico, absorción e incluso reacciones de acomplejamiento y quelación que resultan en la inmovilización de metales pesados.⁹

La *Biorremediación* puede emplear organismos propios del sitio contaminado (autóctonos) o de otros sitios (exógenos), puede realizarse *in situ* o *ex situ*, en condiciones aerobias (en presencia de oxígeno) o anaerobias (sin oxígeno). Aunque no todos los compuestos orgánicos son susceptibles a la biodegradación, los procesos de Biorremediación se han usado con éxito para tratar suelos,

⁹ SEPULVEDA, Tania y VELASCO, Juan Antonio. Tecnologías de remediación para suelos contaminados. Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT). México 2002.

lodos y sedimentos contaminados con hidrocarburos del petróleo (TPH), solventes (benceno y tolueno), explosivos (TNT), clorofenoles (PCP) e hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs).¹⁰

Como ventajas de esta técnica se pueden citar, la transferencia de poca contaminación de un medio a otro, generalmente solo origina cambios físicos menores sobre el medio; es una tecnología poco invasiva y generalmente no requiere componentes estructurales o mecánicos que signifiquen una amenaza para el medio. Comparativamente, es económica, viable y al tratarse de un proceso natural, suele tener aceptación por parte de la opinión pública.

Dentro de sus desventajas esta la posibilidad de generar intermediarios metabólicos inaceptables por una biorremediación incompleta con un poder contaminante similar o incluso superior al producto de partida, teniendo en cuenta que algunos compuestos contaminantes son tan resistentes que pueden incluso inhibir la Biorremediación. El tiempo de tratamiento es difícil de predecir ya que depende del tipo de residuo y del lugar donde sea extendido, puede llegar a ser de varios meses, por lo cual se requiere de grandes extensiones de terreno para realizar un tratamiento adecuado lo que hace que el proceso de seguimiento y control de la velocidad del proceso sea dispendioso.



Fuente: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/acodal/xxi.pdf>

Figura 4. Biorremediación de lodos aceitosos

¹⁰ BENAVIDES J, QUINTERO G, GUEVARA A, JAIMES D, GUTIERREZ S, MIRANDA J. Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos derivados del petróleo. Bogotá 2006.

4.3.2 Tratamiento Físico/Químico

Las *Tecnologías Físico Químicas*, aprovechan las propiedades físicas y/o químicas de los contaminantes o del medio contaminado para destruir, separar o contener la contaminación. Este tipo de tecnologías generalmente son efectivas en cuanto a costos y pueden concluirse en periodos cortos, en comparación con las tecnologías de Biorremediación. Sin embargo, los costos pueden incrementarse cuando se utilizan técnicas de separación en las que los contaminantes pueden requerir de tratamiento o disposición. La mayoría de estas tecnologías se aplican *in situ*. Entre las tecnologías fisicoquímicas para tratamiento *in situ*, se encuentra la remediación electrocinética (RE), el lavado de suelos (LS), la extracción por solventes (ES), la extracción de vapores (EV) y la solidificación/estabilización (S/E).

4.3.3 Tratamiento Térmico – Desorción Térmica

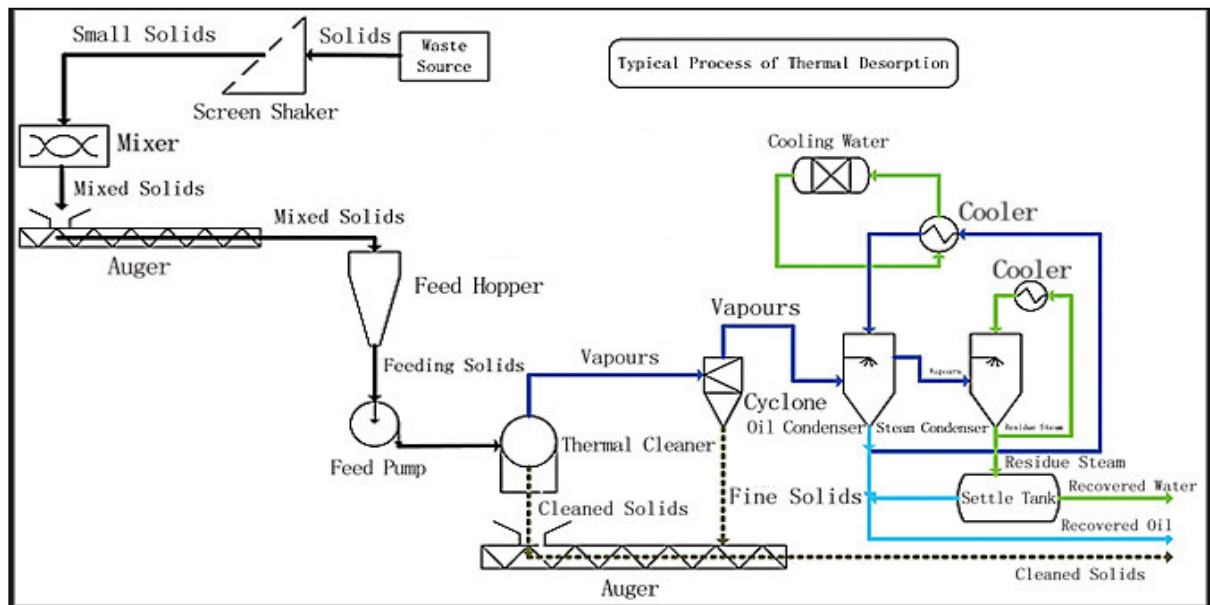
Estos procesos incluyen la destrucción, separación e inmovilización de contaminantes y ofrecen tiempos muy rápidos de limpieza. Los procesos térmicos utilizan la temperatura para incrementar la volatilidad (separación), quemado, descomposición (destrucción) o fundición de los contaminantes (inmovilización).

Las tecnologías térmicas de separación producen vapores que requieren de tratamiento; las destructivas producen residuos sólidos (cenizas) y, en ocasiones, residuos líquidos que requieren de tratamiento o disposición; es importante hacer notar que para ambos tipos de tratamiento, el volumen de residuos generados que requieren de tratamiento o disposición, es mucho menor que el volumen inicial. La mayoría de las tecnologías térmicas pueden también aplicarse *in situ* y *ex situ*. Dentro de las tecnologías térmicas principalmente se encuentran la incineración, pirólisis y ***Desorción Térmica***,¹¹ en la cual se centra este trabajo de monografía.

Los procesos de *Desorción Térmica* (DT) consisten en calentar (90 a 540°C) el suelo con contaminantes orgánicos, con el fin de vaporizarlos y por consiguiente separarlos del suelo. El calor acelera la liberación y el transporte de contaminantes a través del suelo, para posteriormente ser dirigidos hasta un sistema de tratamiento de vapores con el uso de un gas acarreador o un sistema de vacío.

¹¹ SEPULVEDA, Tania y VELASCO, Juan Antonio. Tecnologías de remediación para suelos contaminados. Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT). México 2002.

La desorción térmica es un proceso de separación física no destructivo, la cual permite condensar los vapores de hidrocarburo y recuperarlo para su reuso. El sistema de desorción térmica más común consta de un horno cilíndrico que gira según un eje horizontal calentado directa o indirectamente. Los vapores son separados de los sólidos y tratados según corresponda. Los vapores de hidrocarburos y agua, pasan a una sección de condensadores y luego a un separador agua/aceite donde los hidrocarburos son recuperados. Por otro lado los vapores no condensados pasan por un sistema de filtros que asegura que estas emisiones cumplan con la normatividad ambiental. Los sólidos secos son acondicionados para así realizar su disposición final.



Fuente: <http://www.jereh-services.com/spain/products/Drilling6.shtml>

Figura 5. Proceso de Desorción Térmica con Recuperación de hidrocarburos

Con base en la temperatura de operación, la DT puede clasificarse en dos grupos¹²:

- Desorción térmica de alta temperatura (HTTD): Es una tecnología a gran escala en la cual los residuos son calentados a temperaturas que varían entre 320 y 560°C. Frecuentemente se utiliza en combinación con la incineración dependiendo de las condiciones específicas de cada caso.

¹² U.S. Environmental Protection Agency (EPA). 2001. [En línea]. Treatment Technologies for Site Cleanup. Disponible en web: <http://www.epa.gov/superfund/remedytech/>

- Desorción térmica de baja temperatura (LTTD): Los residuos se calientan a temperaturas entre 90 y 320 °C. Es una tecnología a gran escala que se ha probado con éxito en el tratamiento de varios tipos de suelos contaminados con Hidrocarburos y que permite la recuperación de los hidrocarburos presentes en estos residuos.

Los beneficios del proceso de Desorción Térmica de residuos son¹³:

- Total remediación de los residuos elimina futuros riesgos ambientales al generador.
- Tratamiento de grandes volúmenes en corto tiempo.
- Reutilización del suelo descontaminado.
- Recuperación y ahorro sustancial por reutilización o retorno al proceso de los hidrocarburos.
- La planta térmica puede ser operada en el sitio reduciendo costos de transporte y almacenaje.
- Permite al operador perforar con fluidos base aceite en áreas ambientalmente sensitivas.
- Diseño en acero inoxidable para altas temperaturas.
- Los efluentes cumplen con la normatividad para su disposición final, retorno al proceso o reutilización según sea el caso.
- Las emisiones cumplen con la normatividad de la EPA 1990 Clean Air Act Amendments

Los sistemas de desorción térmica varían en eficacia dentro del rango de los compuestos orgánicos; los procesos que emplean una temperatura de aplicación más baja están indicados para la eliminación de *COV (Compuestos Orgánicos Volátiles)* no halogenados y combustibles, para otros *COV* la eficacia se reduce. Si la temperatura de desorción es moderadamente alta la tecnología se aplica en la eliminación de compuestos orgánicos semivolátiles (*SVOC*), *HAP (Hidrocarburos aromáticos policíclicos)*, pesticidas y metales volátiles (como el Hg). El proceso es aplicable para la separación de compuestos orgánicos procedentes de residuos de refinería, residuos de alquitrán, residuos de la industria de la madera, suelos contaminados por creosota, hidrocarburos, pesticidas y desechos de pintura.¹⁴

¹³ CELY, Juan Carlos y RODRIGUEZ Servando. Estudio de factibilidad técnica y económica para la selección de un sistema de tratamiento de residuos aceitosos en Campo Rubiales. UIS. Bucaramanga. 2012

¹⁴ MARIN SAN PEDRO, Ana Fabiola. Optimización de los tratamientos de desorción térmica de suelos contaminados por hidrocarburos derivados del petróleo. Madrid 2010.

Es necesario determinar la presencia de metales y su destino antes de tratar el suelo, ya que la desorción térmica no es aplicable a la mayoría de los metales, aunque con esta técnica se puede extraer el mercurio.

Los sistemas de desorción térmica pueden descontaminar más de 20 toneladas de suelo contaminado por hora, dependiendo de la eficiencia de la maquina utilizada.¹⁵ El tiempo requerido para eliminar la contaminación de un lugar mediante Desorción Térmica depende del porcentaje (%) de humedad del suelo, del tipo y cantidad de sustancias químicas presentes y de la cantidad y el tipo de suelo contaminado.

4.4 CONCEPTOS ECONÓMICOS

4.4.1 Evaluación Económica

La evaluación económica, pretende determinar cuál es el monto de los recursos económicos necesarios para la realización de un proyecto, el costo total de la operación que abarca la de producción, administración y ventas, así como otra serie de criterios que comparan flujos de beneficios y costos.¹⁶ Una evaluación económica permite determinar si conviene llevar a cabo un proyecto, o sea, si es o no rentable, y sí siendo conveniente, es oportuno ejecutarlo en ese momento o puede postergarse su inicio.

Para ello se utilizan fundamentalmente conceptos como la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Valor Presente Neto (VPN), el cual considera un costo de capital o tasa de descuento; estas técnicas suponen que las ganancias se reinvierten en su totalidad y que al reinvertirse ganan la misma tasa de descuento a la cual fueron calculadas.

4.4.2 Métodos básicos para evaluación de Proyectos

Valor Presente Neto (VPN)

Se puede definir como el valor presente del conjunto de flujos de fondos que derivan de una inversión, descontados a la tasa de retorno requerida de la misma al momento de efectuar el desembolso de la inversión, menos esta inversión inicial, valuada también en ese momento. La

¹⁵ Guía del Ciudadano para la Desorción Térmica. EPA 2001. [En línea]. Disponible en web: <http://www.clu-in.org/download/citizens/td-sp12-6.pdf>

¹⁶ Cruz Lezama Osaín. 2008. [En línea]. Evaluación económica y financiera de proyectos Disponible en web: <http://www.monografias.com/trabajos55/evaluacion-economica-proyectos/evaluacion-economica-proyectos3.shtml>

regla es aceptar toda inversión cuyo valor actual neto (VPN) sea mayor que cero, expresado matemáticamente de la siguiente forma:

$$VPN = \sum_{j=1}^n \frac{F_j}{(1+K)^j} - F_0 > 0$$

$F_0 =$ Inversión Inicial $F_j =$ Flujos netos por periodo

Ecuación 1. Valor Presente Neto

Tasa Interna de Retorno (TIR)

La tasa interna de retorno es un método para la evaluación financiera de proyectos que iguala el valor presente de los flujos de caja esperados con la inversión inicial. La tasa interna de retorno equivale a la tasa de interés producida por un proyecto de inversión con pagos (valores negativos) e ingresos (valores positivos) que ocurren en periodos regulares. También se define como la tasa (TIR), para la cual el valor presente neto es cero, o sea aquella tasa (TIR), a la cual el valor presente de los flujos de caja esperados (ingresos menos egresos) se iguala con la inversión inicial. Matemáticamente se expresa, como la tasa K requerida para que la siguiente expresión sea cero:

$$VPN = \sum_{j=1}^n \frac{F_j}{(1+K)^j} - F_0 = 0$$

$F_0 =$ Inversión Inicial $F_j =$ Flujos netos por periodo

Ecuación 2. Tasa Interna de Retorno

Relación Costo / Beneficio

Es la relación que se obtiene cuando el valor actual de la corriente de beneficios se divide por el valor actual de la corriente de costos. Se aceptan proyectos con una relación mayor que 1.

$$\frac{B}{C} = \frac{\text{Valor Actual Neto}}{\text{Inversion}} = \sum_{j=1}^n \frac{\frac{F_j}{(1+K)^j}}{F_0}$$

Ecuación 3. Relación Costo/Beneficio

Los valores de la tasa interna de retorno, relación costo/beneficio y el valor presente que se fijan como criterios objetivos para que la inversión sea considerada aceptable, dependen principalmente de las condiciones tecnológicas, del mercado, políticas y sociales, que imperen en el lugar donde la inversión se piense llevar a cabo.¹⁷

4.4.3 Otros Conceptos

Amortización

La amortización es una serie de pagos sucesivos, generalmente en montos y períodos iguales, que se efectúan con el fin de cancelar una obligación y sus intereses, dentro de un plazo convenido previamente.

Valor Agregado

En términos económicos, el valor agregado es el Valor económico/valor adicional que adquieren los bienes y servicios al ser transformados durante el proceso productivo. En otras palabras, el valor económico que un determinado proceso productivo adiciona al ya plasmado en las materias primas utilizadas en la producción.

Flujo de Caja

El Flujo de Caja es un informe financiero que presenta un detalle de los flujos de ingresos y egresos de dinero que tiene una empresa en un período dado. La diferencia entre los ingresos y los egresos se conoce como saldo o flujo neto, por lo tanto constituye un importante indicador de la liquidez de la empresa. Si el saldo es positivo significa que los ingresos del período fueron mayores a los egresos (o gastos); si es negativo significa que los egresos fueron mayores a los ingresos.

El estudio de los flujos de caja dentro de una empresa puede ser utilizado para:

- Determinar problemas de liquidez. El ser rentable no significa necesariamente poseer liquidez. Una compañía puede tener problemas de efectivo, aun siendo rentable.
- analizar la viabilidad de proyectos de inversión, los flujos de fondos son la base de cálculo del Valor actual neto y de la Tasa interna de retorno.
- Medir la rentabilidad o crecimiento de un negocio cuando se entienda que las normas contables no representan adecuadamente la realidad económica.

¹⁷ CERVANTES, Juan Gallardo. Evaluación Económica Y Financiera: Proyectos Y Portafolios de Inversión Bajo Condiciones de Riesgo. México DF. 2002.

4.5 MARCO LEGAL

Para la elaboración de este documento se tomó como referencia la normatividad ambiental Internacional y Nacional actual, específicamente el Protocolo Louisiana 29B y la legislación Colombiana con respecto a la gestión integral de los residuos aceitosos/peligrosos.

Decreto 2811 de 1974

Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. Dicta que se deben utilizar los mejores métodos, de acuerdo con los avances de la tecnología, para la recolección, tratamiento, procesamiento o disposición final de los residuos de cualquier clase, prohibiendo descargar, sin autorización, los desechos que deterioren los suelos o causen daño a individuos o comunidades. Por razón de volumen o calidad de residuos se podrá imponer a quien los producen, la obligación de recolectarlos, tratarlos o disponer de ellos, señalizando los medios en cada caso.

Resolución 2309 de 1986

Esta resolución dicta normas específicas y complementarias para regular y controlar la gestión integral de los residuos sólidos especiales, incluida su disposición final.

Ley 99 de 1993

Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA)

Decreto 321 de 1999

Se adopta el Plan Nacional de Contingencias contra derrames de hidrocarburos, derivados y sustancias nocivas en aguas marinas, fluviales y lacustres, como instrumento rector del diseño y realización de actividades dirigidas a prevenir, mitigar y corregir los daños que estos pueden ocasionar. El plan deberá estar articulado con el plan local de emergencias.

Decreto 1609 de 2002

Por el cual se reglamenta el manejo y transporte terrestre automotor de mercancías peligrosas por carretera.

Decreto 4741 de 2005

Este decreto tiene por objeto prevenir la generación de residuos o desechos peligrosos, así como regular el manejo de los residuos o desechos generados, con el fin de proteger la salud humana y el ambiente, en el marco de la gestión integral.

El manejo integral de residuos peligrosos se define como la adopción de todas las medidas necesarias en las actividades de prevención, reducción y separación en la fuente, acopio, almacenamiento, transporte, aprovechamiento y/o valorización, tratamiento y/o disposición final, importación y exportación de residuos o desechos peligrosos, individualmente realizadas o combinadas de manera apropiada.

Se hace responsable al generador del residuo mediante el manejo y tratamiento, hasta la disposición final, en condiciones que garanticen la neutralización de la capacidad de impacto del desecho, eliminando las concentraciones de los componentes que le dan características tóxicas. Además se establece que el receptor del residuo o desecho peligroso asumirá la responsabilidad integral del generador, una vez lo reciba del transportador y haya efectuado o comprobado el aprovechamiento o disposición final del mismo. Mientras no se haya efectuado y comprobado el aprovechamiento y/o disposición final del residuo o desecho peligroso, el receptor es solidariamente responsable con el generador.

En el capítulo II de este decreto se establece la clasificación, caracterización, e identificación de los desechos peligrosos, incluidos en los anexos I, II. Las características corrosivas, explosivas, tóxicas, inflamables infecciosas y radioactivas son las que le confieren a un residuo la calidad de peligroso.

Protocolo Louisiana 29B

La Orden 29B del protocolo de Louisiana describe específicamente el manejo aceptado y las regulaciones requeridas para la gestión de desechos de operaciones inherentes a la industria petrolera. En esta norma Internacional se encuentran los parámetros que rigen la disposición final de residuos provenientes de exploración, perforación y producción como cortes base aceite, piscinas petroleras, residuos de limpieza de tanques y demás equipos, entre otras actividades de la industria.

5. LINEAMIENTOS BÁSICOS

Para realizar la evaluación técnico económica y estudiar la viabilidad de la puesta en marcha de una planta de Desorción Térmica en el país, se evaluarán dos plantas de tratamiento ofrecidas en el mercado por un Proveedor Extranjero y un Proveedor Nacional. Además se tuvo en cuenta la siguiente información en la elaboración de este documento:

5.1 ASPECTOS TÉCNICOS

5.1.1 Proceso de Desorción Térmica

Recordando la información acerca de este proceso descrita en el punto 4.3.3 del capítulo anterior de este documento y conociendo la necesidad de crear valor agregado con la recuperación del hidrocarburo presente en los residuos aceitosos; el tipo de Desorción que cumple con este requerimiento del mercado es la *Desorción Térmica de Baja Temperatura (LTTD) con calentamiento indirecto*.

El equipo y el proceso deben cumplir los requerimientos que exige la normatividad ambiental Colombiana en cuanto a las corrientes de salida del proceso las cuales son: material sólido, agua, aceite recuperado y emisiones a la atmósfera.

La planta de tratamiento debe tener un amplio rango de operación al hablar de la caracterización de los residuos, es decir, debe permitir ingresar al proceso residuos con diferentes porcentajes de sólidos y aceite y mantener su eficiencia operativa con respecto al porcentaje de recuperación de aceite, sin dejar de lado los aspectos ambientales.

5.1.2 Residuos susceptibles a tratar por LTTD

Teniendo en cuenta el proceso de Desorción Térmica, los residuos aceitosos a tratar deben contener un porcentaje de sólidos considerable; por cual en este documento se hablará específicamente de los residuos provenientes de perforación, producción, pasivos ambientales y residuos generados por derrames de crudo en suelos los cuales tienen cierto porcentaje de sólidos, como son:

Cortes de Perforación / Fluidos de Workover: Fluidos aceitosos con alto contenido de sólidos generados durante las actividades de perforación, Workover y demás servicios a pozos.

Fluidos aceitosos de producción: Fluidos contaminados con sólidos provenientes de equipos y facilidades de producción; como por ejemplo de la saturación del Gunbarrel, FWKO's y otras vasijas.

Borras o fondos provenientes de limpieza de tanques: Residuos sólidos con alto contenido de aceite provenientes de la limpieza de fondos de tanques y vasijas usados en producción o para el almacenamiento de crudo.

Suelo y material vegetal contaminado: Sólidos aceitosos generados por derrames de Hidrocarburos en el suelo y vegetación, ocasionados por corrosión o por ataques de grupos al margen de la ley.

Pasivos Ambientales: Residuos con un gran porcentaje de sólidos y aceite. Generalmente estos residuos se encuentran confinados en piscinas petroleras que fueron clausuradas años atrás y que hoy en día deben recibir un tratamiento adecuado. Se encuentra dificultad en conocer el volumen a tratar de este tipo de residuos, debido a las implicaciones legales que tiene no haber tratado estos desechos cuando se debía.

Para que el tratamiento de residuos aceitosos por Desorción Térmica sea eficiente y rentable, el desecho que ingresa al equipo debe cumplir con ciertas características que permitan obtener un alto porcentaje de recuperación de hidrocarburos y optimizar el uso de energía dentro del proceso.

El porcentaje de agua, aceite y sólidos en los residuos es de vital importancia para el proceso de desorción térmica, debido a que influyen directamente en la eficiencia de la operación, como se describe a continuación:

PORCENTAJE DE AGUA:

Teniendo en cuenta que esta es una operación de calentamiento donde existe evaporación, resulta ineficiente ingresar al sistema residuos con altos porcentajes de agua, ya que habría un mayor consumo de energía para evaporar el agua contenida, lo que no es rentable ni conveniente para el proceso.

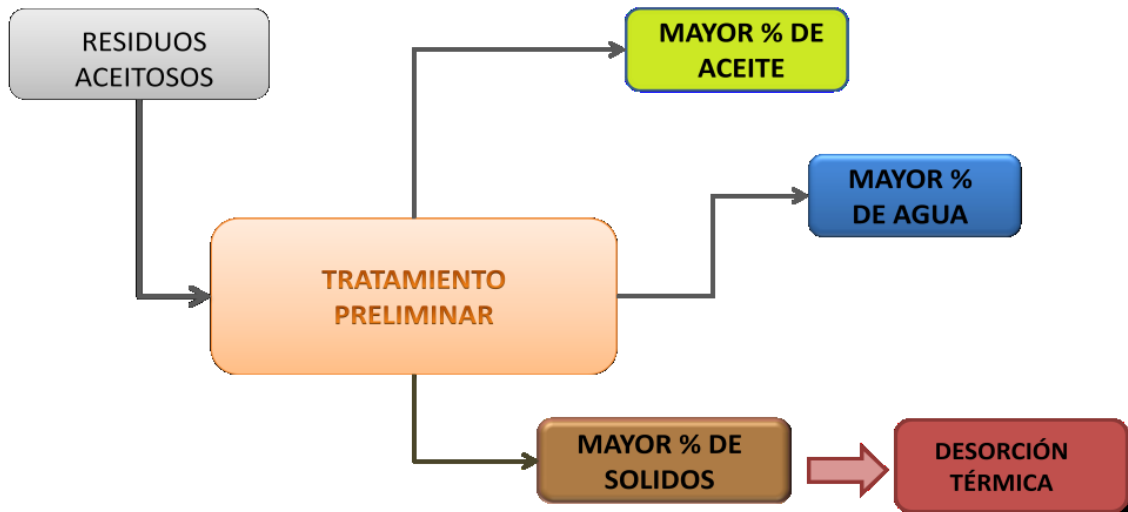
PORCENTAJE DE ACEITE:

El objetivo principal de este proceso es la recuperación del aceite contenido en estos residuos, por lo cual para que se justifique la utilización de esta técnica y el proceso sea rentable, el contenido de aceite debe ser considerablemente alto.

PORCENTAJE DE SÓLIDOS:

Esta técnica es utilizada principalmente para tratar sólidos contaminados, por lo tanto el porcentaje de estos debe ser alto en material a tratar, generalmente debe ser mayor al 40% en composición.

Según la actividad y la etapa del proceso de donde provenga el residuo aceitoso variará su composición de agua, sólidos y aceite, por lo cual los residuos aptos para ser tratados por Desorción Térmica requieren un tratamiento preliminar para que al ser ingresados al proceso de desorción se obtengan los resultados esperados. A continuación se muestra una gráfica donde se indica la corriente de interés para este caso.



Fuente: Autora

Figura 6. Corriente de interés para aplicar la Desorción Térmica

Los residuos aceitosos susceptibles a la aplicación de esta técnica de tratamiento, de acuerdo con empresas proveedoras de estos equipos, deben tener la siguiente composición:

Tabla 1. Composición de residuos aceitosos susceptibles a la aplicación del proceso de Desorción Térmica

AGUA	<20%
ACEITE	>30%
SOLIDOS	40 – 80%

5.1.3 Eficiencia en la recuperación de aceite

Recopilando la información de empresas relacionadas con el tema, se encontró que los equipos de Desorción Térmica disponibles en el mercado poseen un proceso muy eficiente, lo que permite que la recuperación de hidrocarburos sea mayor al 90%. El hidrocarburo recuperado debe tener un BS&W (*Basic Sediment and Water*) máximo de 2.0%. Luego de recuperado será devuelto al generador de residuo para que sea retornado al proceso dentro de las facilidades de producción. Estos valores se tomarán como parámetro de selección en la evaluación técnica de los equipos.

5.2 ASPECTOS ECONÓMICOS

Para desarrollar la evaluación económica de la puesta en marcha de una planta de Desorción Térmica se tomaron en cuenta las siguientes premisas:

Tabla 2. Premisas Base para la elaboración de la Evaluación Económica del Proyecto

GENERALIDADES	
Período de Inversión (años):	1
Período de Operación (años):	10
Vida útil activos (años):	10
Año base para el análisis a precios constantes	2012
Precio de tratamiento (COP/BBL)	\$50.000
Tasa de descuento:	10%
Administración:	15%

Como lo indica la Tabla 2, la evaluación económica se elaborará para una vida útil de activos de diez (10) años, suponiendo un periodo de operación de igual duración. La inversión total se hará en el primer año por medio de financiación.

Recopilando información del mercado colombiano actual, se determinó utilizar como precio por barril tratado (COP\$50.000), para calcular los ingresos operacionales del proyecto. Para la variación año a año de este valor se tomará como referencia el IPC (Índice Precio Consumidor).

Se supondrá un porcentaje de administración del 15% de los costos totales de Operación del Proyecto. Para costear la operación de la Planta de Tratamiento, se asume una operación continua de 24 horas, donde el personal trabajara 2 turnos de 12 horas.

5.3 CASO BASE

Para desarrollar la evaluación técnica y económica del proceso de Desorción Térmica se tomará el siguiente Caso Base Real:

5.3.1 Tratamiento Ex Situ

La instalación, puesta en marcha y operación de la planta de Desorción Térmica se supone en un área de aproximadamente 1 Ha, donde se establece un espacio de 2500 m² específicamente para este proceso y a la cual ingresarán residuos aceitosos de diferentes empresas del sector petrolero. Lo anterior indica que para efectos de este documento, se tomará como referencia un tratamiento *Ex Situ*, o sea fuera del área donde se genera el residuo.

La normatividad ambiental colombiana indica que toda actividad, obra o proyecto que pueda producir deterioro a los recursos naturales renovables, al medio ambiente o generar modificaciones al paisaje debe tener una licencia o permiso ambiental, por lo cual se asume que el área en la cual se desarrollará el tratamiento contará con la licencia ambiental necesaria para esto.

5.3.2 Composición de los residuos

Se asume que al área de tratamiento ingresarán los siguientes residuos provenientes de actividades de producción.

Residuos aceitosos provenientes de las actividades en producción de tres estaciones ubicadas en los llanos Colombianos, específicamente de los siguientes equipos: Piscinas de producción, lechos de secado, desarenadores, frack tanks, fondos de tanques, separadores API, entre otras vasijas.

Mensualmente son generados aproximadamente 21.000 barriles de residuos aceitosos, los cuales ingresan a los diferentes sistemas de tratamiento, según sean los requerimientos. De este total

entre el 40% - 45% ingresa, después de un tratamiento preliminar, al proceso por Desorción Térmica con la siguiente composición:

Tabla 3. Composición Residuos para Caso Base

AGUA	20%
ACEITE	40%
SOLIDOS	40%

5.3.3 Volumen de residuos a tratar

Teniendo en cuenta la información proporcionada anteriormente, se realiza una estimación del volumen de residuos a ser tratado por Desorción Térmica, para conocer la capacidad de operación requerida del equipo. Se toma el 42% de los residuos generados en las tres estaciones de producción:

Tabla 4. Volumen de Residuos a tratar por Desorción Térmica – Caso Base

	Barriles	M³
Volumen Mes	8820	1402,2
Volumen Día	294	46,7

De acuerdo a lo anterior, la capacidad de la planta de tratamiento de Desorción Térmica requerida es de $2 \text{ m}^3/\text{h}$. Se tendrá en cuenta este volumen para el inicio de la operación de este proyecto, sin embargo esperando ampliar el volumen a tratar a medida que avance el proyecto por medio de la obtención de nuevos clientes, para efectos de la evaluación económica se trabajará con una capacidad de operación de $6 \text{ m}^3/\text{h}$.

6. EVALUACIÓN TÉCNICA

Como se explicó anteriormente, el proceso seleccionado para recuperar el hidrocarburo proveniente de las actividades de producción en el caso base será la Desorción Térmica por baja temperatura. Los equipos necesarios para realizar este proceso necesitarán estar diseñados para tratar varios tipos de suelos contaminados en su mayoría con hidrocarburos, los cuales al aumentar la temperatura deben disolver de manera selectiva los componentes contaminantes presentes en el suelo.

Se seleccionaron dos los proveedores para realizar la Evaluación Técnica; el primer proveedor es extranjero de origen Canadiense y el segundo proveedor es de origen Nacional. Las plantas tendrán la capacidad de 6 m³/h y la caracterización de los residuos aceitosos es la descrita en la *Tabla 2*.

6.1 DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL PROCESO DE DESORCIÓN TÉRMICA

Generalmente los residuos aceitosos provenientes de producción, tienen un alto porcentaje de contenido de agua la cual, como se dijo anteriormente, hace que el proceso de Desorción Térmica sea ineficiente energéticamente. Es por ello que normalmente antes de realizar la desorción térmica es conveniente realizar un tratamiento preliminar cuyos objetivos principalmente son:

1. Retirar la mayor cantidad de agua contenida en los residuos aceitosos.
2. Retirar los productos químicos adicionados durante el proceso
3. Realizar una mezcla homogénea de los residuos, para obtener mayor eficiencia en la separación.

El tratamiento preliminar, se realiza por métodos mecánicos y/o físico-químicos como: calentamiento, decantación, separación mecánica asistida por centrifugación con adición de polímeros que rompan las emulsiones formadas agua/aceite, entre otros.

Una vez se tenga el tratamiento preliminar, los residuos estarán acondicionados para que inicien con el proceso de desorción térmica por baja temperatura. Aquí los residuos que ingresan al equipo de desorción son calentados indirectamente en un horno rotatorio en el cual la temperatura de operación oscila entre 90°C y 320°C. Estos equipos deben tener un sistema que permita

mantener una atmósfera inerte que prevenga la oxidación de los hidrocarburos presentes y ausencia total de oxígeno para evitar la calcinación del material a tratar.

Como resultado del proceso de desorción, se tienen tres corrientes de salida las cuales son:

1. Suelo tratado libre de hidrocarburo.
2. Gases de Combustión.
3. Mezcla de vapor de agua e hidrocarburo en estado gaseoso.

Por las características físicas del suelo tratado libre de hidrocarburo, es necesario enviarlo al proceso llamado Acondicionamiento de Suelos. Este proceso se hace necesario, ya que el suelo tratado libre de hidrocarburo presenta diámetros de partículas muy pequeños lo que hace que el aire pueda dispersarlo en el medio ambiente muy fácilmente generando riesgos ambientales y de salud para el personal que labora en el lugar de tratamiento. El acondicionamiento de suelos se hace por medio de aspersores de agua, los cuales humedecen las cenizas para evitar que se dispersen en el medio ambiente; el agua utilizada en este proceso proviene del proceso de separación agua/aceite. Finalmente, después del proceso de Acondicionamiento de Suelos, se dispone el material sólido en celdas de seguridad.

Los gases generados por la combustión son emitidos a la atmósfera, siempre y cuando cumplan con los parámetros estipulados en la Normatividad Ambiental Colombiana. En el presente caso a estudiar, estos gases son emitidos bajo la respectiva normatividad.

La mezcla de vapor de agua e hidrocarburo en estado gaseoso, se lleva a un proceso de separación gas sólido primario en donde se realiza la separación de las partículas sólidas remanentes de la mezcla de gases. Esto se usa con el fin de que la mezcla de gases esté libre de material particulado y pueda ser llevada al siguiente proceso sin afectar la eficiencia del mismo y cumpliendo con la normatividad ambiental. Los sólidos retirados en la etapa de filtración se direccionan hacia el proceso de Acondicionamiento de Suelos.

Cuando la mezcla de vapor de agua e hidrocarburo en estado gaseoso, finaliza el proceso de filtración primaria, se lleva hacia el proceso de condensación primaria. Este proceso de transferencia de calor se realiza con agua líquida la cual proviene generalmente del separador agua aceite. En el condensador, un porcentaje de la mezcla de vapor de agua e hidrocarburo pasa de la fase gaseosa a la fase líquida. Los deltas de temperaturas en los condensadores, varían según el diseño de cada fabricante, sin embargo la condensación primaria se utiliza para

condensar en un mayor porcentaje los hidrocarburos. Como resultado de la condensación primaria, se tienen dos corrientes de salida las cuales son:

1. Mezcla de agua e hidrocarburos en estado líquido condensada.
2. Mezcla vapor de agua e hidrocarburos remanente.

La mezcla condensada se lleva al proceso de separación agua/aceite, donde las fuerzas gravitacionales actúan sobre cada uno de los fluidos y se establece un equilibrio entre las fases líquidas separando el agua del crudo.

Por otra parte, la mezcla vapor de agua e hidrocarburo remanente, continúa hacia un segundo proceso de separación gas sólido, el cual tiene como objetivo controlar el material particulado presente en la mezcla de gases; por lo tanto este proceso se utiliza como un “pre-limpiador” de material particulado para que una vez que se encuentre la mezcla gaseosa en la fase líquida, el gas remanente esté libre de contaminante sólido y así cumplir con la normatividad ambiental referente a las emisiones.

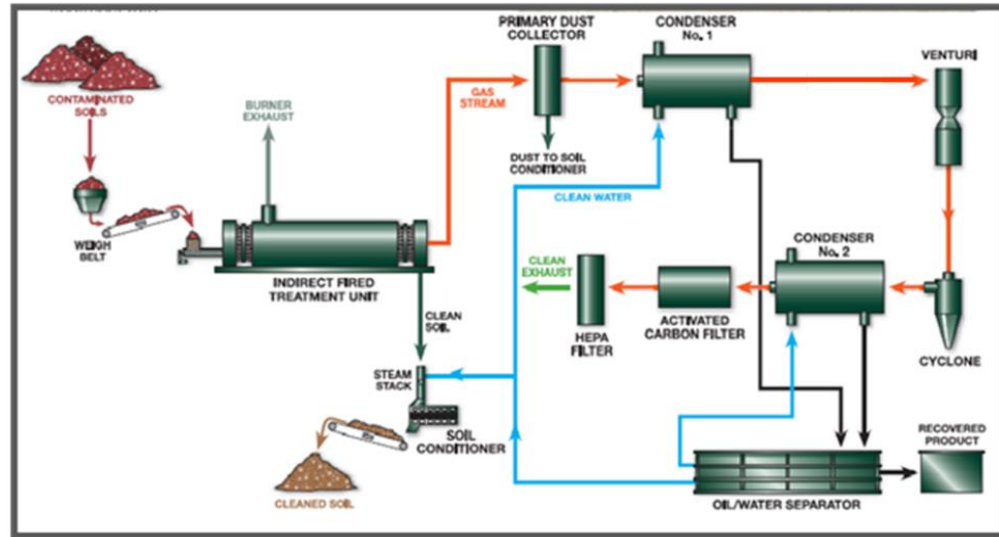
Cuando, la mezcla de gases sale del proceso de separación gas sólido, llega a el proceso de condensación secundaria en donde la mezcla de gases pasa a la fase líquida por completo. Como resultado se obtiene una mezcla de agua e hidrocarburos la cual es llevada a etapa de separación de agua aceite. El gas libre de la mezcla de agua e hidrocarburos pasa a procesos de filtración en donde se deja apto para emitir al medio ambiente, cumpliendo con la normatividad ambiental referente.

6.2 PROVEEDOR EXTRANJERO

El proveedor extranjero (Proveedor 1), propone la siguiente configuración para realizar la Desorción Térmica como se muestra en la Figura 10.

1. Un horno rotario con la capacidad de tratar $6 \text{ m}^3/\text{h}$.
2. Un Acondicionador de suelos, el cual tiene boquillas de aspersion de agua.
3. Un sistema de tratamiento de gases complejo compuesto por: un colector de polvo en donde se realiza la separación gas/sólido primaria, un venturi scrubber y un ciclón donde se realiza la separación gas/sólido secundaria, y una tercera separación gas/sólido compuesta por un filtro de carbón activado y un filtro HEPA.

4. Un separador de agua aceite
5. Un tanque para recuperación de producto.

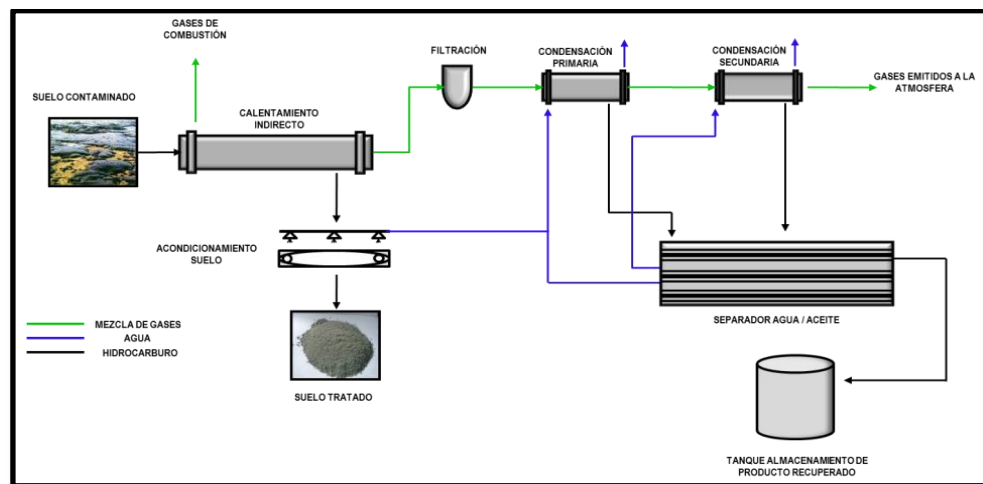


Fuente: Proveedor Extranjero

Figura 7. Proceso de Desorción Térmica – Proveedor Extranjero

6.3 PROVEDOR NACIONAL

Proveedor de origen Nacional (Proveedor 2), el proceso propuesto para realizar la desorción térmica se muestra en la Figura 11.



Fuente: Proveedor Nacional

Figura 8. Proceso de Desorción Térmica - Proveedor Nacional

El proceso del Proveedor 2 ofrece:

1. Un horno rotario con la capacidad de tratar 6 m³/h.
2. Un Acondicionador de suelos, el cual tiene boquillas de aspersion de agua.
3. Un sistema de tratamiento de gases simple compuesto únicamente por un filtro de mangas en donde se realiza la separación gas/sólido de todo el sistema.
4. Un separador de agua/aceite.
5. Un tanque almacenamiento de producto recuperado.

6.4 ANÁLISIS DE ASPECTOS TÉCNICOS

Los procesos ofrecidos por cada uno de los proveedores, cumplen con el principal objetivo de la desorción térmica, el cual es recuperar el hidrocarburo presente en el suelo; sin embargo la eficiencia de recuperación es mayor para la planta ofrecida por el proveedor extranjero (98 %) que la planta ofrecida por el proveedor nacional (93%). Las eficiencias en los dos equipos del separador agua/aceite, permiten obtener un hidrocarburo con un porcentaje de BSW menor al 2%.

Ambas plantas ofrecen una reutilización del agua, proveniente del proceso de separación agua/aceite, para ser usada en los dos equipos de condensación que tiene la planta, este aspecto es muy importante ya que hay un ahorro de líquido, al no tener la necesidad de utilizar agua tratada.

Con respecto al tratamiento de gases, parte crítica dentro del proceso ya que contiene el Hidrocarburo que se quiere recuperar, además de las implicaciones ambientales que genera, el proveedor extranjero ofrece un sistema de filtración completo el cual incluye cinco tipos de filtros diferentes; sin embargo hay que tener en cuenta los siguientes aspectos:

- El problema principal en los *scrubber venturi*, radica en el mantenimiento debido al desgaste o a la abrasión que ocurren internamente en los equipos consecuencia de las altas velocidades de gas, pese a esto las eficiencias pueden oscilar entre el 90% y 95% de remoción.
- Los ciclones, presentan baja eficiencia de colección con partículas muy finas (menores a 5µm) y elevada caída de presión, sin embargo son de fácil instalación y mantenimiento debido a que no contienen piezas movibles, tienen eficiencias hasta del 99% si el tamaño de las partículas son mayores a 5µm, operan sin problemas con gases de temperaturas

elevadas y finalmente pueden ser construidos con materiales resistentes a la abrasión y corrosión.

- Los filtros de carbón activado son una tecnología donde los contaminantes no son destruidos, sino que son atrapados, esto significa que se requiere un cambio frecuente en el filtro lo que incrementaría los costos de mantenimiento; además no son recomendables en condiciones ambientales de alta humedad. Con respecto a su función, permite retener un amplio espectro de moléculas químicas y en particular compuestos orgánicos volátiles.
- Los filtros HEPA, son necesarios cambiar regularmente si se utilizan en lugares donde los niveles de humedad son elevados. Estos filtros, por tener un comportamiento similar a un tamiz o colador, son capaces de retener por lo menos un 99,5% de las partículas que posean un diámetro superior a los 0,3 nm, esto significa que son capaces de retener la gran mayoría de partículas contaminantes presentes en una corriente de gas.

En el caso del Proveedor Nacional, el tratamiento de gases se compone únicamente por un filtro tipo mangas, el cual posee una eficiencia superior a 99,9%, permitiendo cumplir con la normatividad ambiental. Entre las desventajas del sistema de filtración propuesto por el Proveedor 2 se tienen.

- Algunos filtros de mangas no son adecuados cuando hay gases a altas temperatura ya que estas son fabricadas regularmente en material sintético.
- Cuando se excede el trabajo mecánico de las mangas filtrantes, se pierde confiabilidad en la calidad del gas resultante.
- Al ser el único sistema de filtración, la operación tendría que parar cuando este se encuentre en un mantenimiento correctivo.

Con respecto al consumo de combustible, el proveedor 1 ofrece 320 gal/mes trabajando turnos continuos de 24 horas, mientras que el consumo del equipo ofrecido por el proveedor 2 es de 368 gal/mes trabajando el mismo turno, lo que significa que el equipo ofrecido por el proveedor 2 tiene un consumo mayor que supera el 15%. Hablando al mantenimiento el proveedor 2 al ser local le permite tener tiempos de respuesta cortos.

7. EVALUACIÓN ECONÓMICA

7.1 INGRESOS OPERACIONALES

Utilizando el caso base para elaborar la evaluación económica del proyecto, se estimaron los ingresos de la operación de una planta de Desorción Térmica.

Se tiene un ingreso mensual de 8820 Barriles de Residuos aceitosos, aptos para ser ingresados al proceso de Desorción Térmica en el área destinada para esto. El costo por barril tratado es de COP\$50.000, lo que indica que el ingreso mensual operacional será COP\$441.000.000 para el primer año de operación.

Se estima un aumento anual del 10% en el volumen de residuos aceitoso a tratar, como resultado de aumento en las ventas de este servicio de tratamiento, consecución de nuevos clientes y nuevos mercados. A continuación se muestran los ingresos proyectados para los 10 años de vida útil del proyecto.

Tabla 5. Ingresos Operacionales Anuales Proyectados – Caso Base

AÑO	Barriles/Año	\$COP / Barril	INGRESOS/AÑO (\$COP)
2012	0	\$ -	\$ -
2013	105.840	\$ 50.000	\$ 5.292.000.000
2014	116.424	\$ 51.250	\$ 5.966.730.000
2015	128.066	\$ 52.531	\$ 6.727.488.075
2016	140.873	\$ 53.845	\$ 7.585.242.805
2017	154.960	\$ 55.191	\$ 8.552.361.262
2018	170.456	\$ 56.570	\$ 9.642.787.323
2019	187.502	\$ 57.985	\$ 10.872.242.707
2020	206.252	\$ 59.434	\$ 12.258.453.652
2021	226.877	\$ 60.920	\$ 13.821.406.492
2022	249.565	\$ 62.443	\$ 15.583.635.820

A continuación se presentará la Evaluación Económica de la operación de una Planta de Desorción Térmica teniendo en cuenta dos proveedores del equipo; un proveedor Extranjero y otro Nacional; utilizando los métodos de Valor Presente Neto, Tasa Interna de Retorno y la Relación Costo/Beneficio.

7.2 PROVEEDOR EXTRAJERO

7.2.1 CAPEX

Consultando con la compañía extranjera proveedora del equipo de Desorción Térmica, se obtuvo información para estimar el valor de la inversión (CAPEX) del proyecto; adicionándole los demás ítems como muestra la tabla a continuación:

Tabla 6. Inversión Total – Proveedor Extranjero

CAPEX				
ITEM	UNIDAD	\$/UNIDAD	PRECIO \$COP	PRECIO \$USD
EQUIPO DESORCION (6m3/h)	GLOBAL	\$ 4.500.000.000	\$ 4.500.000.000	\$ 2.500.000
IMPORTACION (20%)	GLOBAL	\$ 900.000.000	\$ 900.000.000	\$ 505.618
LICENCIA AMBIENTAL	1	\$ 300.000.000	\$ 300.000.000	\$ 168.539
TERRENO (1 Ha)	1	\$ 400.000.000	\$ 400.000.000	\$ 224.719
CAMIONETA DOBLE CABINA	1	\$ 70.000.000	\$ 70.000.000	\$ 39.326
VOLQUETA DOBLE TROQUE	2	\$ 150.000.000	\$ 300.000.000	\$ 168.539
RETROCARGADOR	1	\$ 120.000.000	\$ 120.000.000	\$ 67.416
TOTAL			\$ 6.590.000.000	\$ 3.674.157

El valor reportado para la planta de Desorción Térmica incluye todos los equipos, accesorios y demás aditamentos necesarios para su buen funcionamiento. Se contempla dentro de los costos, el trámite de la licencia ambiental requerida y el terreno donde se instalará la planta de tratamiento.

Si se opta por la compra de la máquina extranjera; la inversión total, sería de \$6.590.000.000 pesos Colombianos, los cuales se financiarán en un periodo de 10 años. Se supone un costo de importación del 20% del valor del equipo, que incluye aranceles y transporte hasta la zona donde será instalada.

7.2.2 OPEX

A continuación, se muestran los costos operativos mensuales de la planta de Desorción Térmica para la empresa extranjera:

Tabla 7. Costos Operacionales Mensuales – Proveedor Extranjero

OPEX				
PERSONAL	CANTIDAD	SALARIO	TOTAL \$COP	TOTAL \$USD
INGENIERO	2	\$ 8.100.000	\$ 16.200.000	\$ 9.101
OPERARIOS	4	\$ 3.600.000	\$ 14.400.000	\$ 8.090

TOTAL MES PERSONAL	\$ 30.600.000	\$ 17.191
---------------------------	----------------------	------------------

COSTOS	CANTIDAD	\$/UNIDAD	TOTAL \$COP	TOTAL \$USD
COMBUSTIBLE EQUIPOS (GALON DIESEL)	12330	\$ 8.115	\$ 100.057.950	\$ 56.212
MANTENIMIENTO EQUIPOS	GLOBAL	\$ 6.500.000	\$ 6.500.000	\$ 3.651,7
VIATICOS PERSONAL	GLOBAL	\$ 16.500.000	\$ 16.500.000	\$ 9.269,7
ANALISIS DE LABORATORIO	GLOBAL	\$ 6.000.000	\$ 6.000.000	\$ 3.370,8
DISPOSICION CENIZAS DE TRATAMIENTO	M3	\$ 400.000	\$ 56.080.000	\$ 31.505,6

TOTAL MES	\$ 185.137.950	\$ 72.504
------------------	-----------------------	------------------

La Planta de Desorción Térmica, como se mencionó en las premisas trabajará 24 horas, con dos turnos de 12 horas, por lo cual cada equipo de trabajo contará con un (1) Ingeniero supervisor y dos (2) operadores y se estimaron los viáticos para el personal. Para el consumo de combustible (diesel), se tomó el consumo establecido por la empresa proveedora de la maquina y el precio de Diesel en noviembre 2012 en Bogotá.

Se estimó el costo de la disposición final de la corriente sólida que sale del proceso de Desorción Térmica, se supone que esta corriente es el 10% del material contaminado que ingresó a la planta, en este caso aproximadamente 140 m³ al mes. Por otro lado, semanalmente se realizan pruebas de laboratorio al material que ingresa y a las corrientes de crudo y agua que salen del proceso.

Con respecto al mantenimiento, el proveedor indica que se debe realizar una inspección mensual donde se preste mantenimiento preventivo al equipo; adicional a esto se pacta una vista anual por parte del fabricante para un mantenimiento y revisión general del proceso y así evitar fallas graves.

7.2.3 INDICADORES

Teniendo en cuenta la información reportada anteriormente, se construyó el siguiente flujo de caja, con el cual se encontró el VPN (Valor Presente Neto), Tasa Interna de Retorno (TIR) y la relación Costo/Beneficio del proyecto suponiendo la compra de una máquina extranjera. A continuación se

muestran los resultados en la *Tabla 8*. El Flujo de Caja se puede consultar en el *Anexo 1* de este documento.

Tabla 8. Indicadores Financieros – Proveedor Extranjero

VPN Proyecto (\$COP)	\$ 13.317.499.082
TIR	37%
VPN Beneficios (\$COP)	\$ 43.536.622.710
VPN Costos (\$COP)	\$ 30.065.369.131
Relación Costo/Beneficio	1,45
Payback	3 Años

Como se observa en los resultados obtenidos, se puede observar que el VPN del proyecto es igual a COP\$13.317.499.082, por lo cual se considera que el proyecto es viable y rentable, ya que se observa que se obtendrán beneficios en un corto lapso de tiempo comparado con la vida útil del proyecto.

Con respecto a la Tasa Interna de Retorno TIR de este proyecto, es igual a 37% lo que hace que esta sea una inversión aconsejable de realizar. Este proyecto tiene una rentabilidad alta y un tiempo de repago corto (Payback) igual a 3 años.

La relación Costo/Beneficios es igual a 1,45 (mayor a 1) lo cual es muy favorable ya que indica que los ingresos son mayores a los egresos.

7.3 PROVEEDOR NACIONAL

7.3.1 CAPEX

La inversión (CAPEX) para este caso donde se compra un equipo nacional, se desglosa a continuación, con los demás ítems que se requieren para la operación del proyecto.

El valor reportado de la planta de Desorción Térmica incluye todos los equipos, accesorios y demás aditamentos necesarios para su buen funcionamiento, además del transporte hasta la zona donde será instalada.

Tabla 9. Inversión Total – Proveedor Nacional

CAPEX				
ITEM	UNIDAD	\$/UNIDAD	PRECIO \$COP	PRECIO \$USD
EQUIPO DESORCION (4m3/h)	GLOBAL	\$ 2.100.000.000	\$ 2.500.000.000	\$ 1.404.494
LICENCIA AMBIENTAL	1	\$ 300.000.000	\$ 300.000.000	\$ 168.539
TERRENO 1 Ha	1	\$ 400.000.000	\$ 400.000.000	\$ 224.719
CAMIONETA DOBLE CABINA	1	\$ 70.000.000	\$ 70.000.000	\$ 39.326
VOLQUETA DOBLE TROQUE	2	\$ 150.000.000	\$ 300.000.000	\$ 168.539
RETROCARGADOR	1	\$ 150.000.000	\$ 150.000.000	\$ 84.270
TOTAL			\$ 3.720.000.000	\$ 2.089.888

7.3.2 OPEX

Los costos operativos de la planta de Desorción Térmica suministrada por la Empresa Nacional son:

Tabla 10. Costos Operacionales Mensuales – Proveedor Nacional

OPEX				
PERSONAL	CANTIDAD	SALARIO	TOTAL \$COP	TOTAL \$USD
INGENIERO	2	\$ 8.100.000	\$ 16.200.000	\$ 9.101
OPERARIOS	4	\$ 3.600.000	\$ 14.400.000	\$ 8.090
TOTAL MES PERSONAL			\$ 30.600.000	\$ 17.191

COSTOS	CANTIDAD	\$/UNIDAD	TOTAL \$COP	TOTAL \$USD
COMBUSTIBLE EQUIPOS (GALON DIESEL)	13290	\$ 8.115	\$ 107.848.350	\$ 60.589
MANTENIMIENTO EQUIPOS	GLOBAL	\$ 5.000.000	\$ 5.000.000	\$ 2.809,0
VIATICOS PERSONAL	GLOBAL	\$ 16.500.000	\$ 16.500.000	\$ 9.269,7
ANALISIS DE LABORATORIO	GLOBAL	\$ 6.000.000	\$ 6.000.000	\$ 3.370,8
DISPOSICION CENIZAS DE TRATAMIENTO	M3	\$ 400.000	\$ 56.080.000	\$ 31.505,6
TOTAL MES			\$ 191.428.350	\$ 76.038

Los costos estimados para la operación de la planta de tratamiento de origen Nacional son los mismos usados en el numeral 7.2.2. de este documento, a excepción del consumo de combustible y al mantenimiento de la máquina.

Con respecto al consumo de combustible, es mayor aproximadamente un 15% si se compara con el equipo extranjero. Sin embargo el mantenimiento resulta un poco más económico debido a que el proveedor se encuentra en el país, lo que facilita el suministro de repuestos y sus visitas pueden

ser en cualquier momento sin generar mayores costos. Se supone un mantenimiento general cada seis meses y una inspección mensual como mantenimiento preventivo.

7.3.3 INDICADORES

Se elaboró el respectivo flujo de caja, teniendo en cuenta la información reportada anteriormente, y se encontró el VPN (Valor Presente Neto), Tasa Interna de Retorno (TIR) y la relación Costo/Beneficio del proyecto con la compra de un equipo nacional. El Flujo de Caja se puede consultar en el *Anexo 2* de este documento.

Tabla 11. Indicadores Financieros – Proveedor Nacional

VPN Proyecto (\$COP)	\$ 15.358.917.470
TIR	61%
VPN Beneficios (\$COP)	\$ 43.536.622.710
VPN Costos (\$COP)	\$ 29.703.873.482
Relación Costo/Beneficio	1,47
Payback	2 Años

Como lo indica la *Tabla 12*, el VPN del proyecto es igual a COP\$15.358.917.470 por lo cual se considera que el proyecto es viable y rentable, ya que se observa que se obtendrán beneficios en un corto lapso de tiempo comparado con la vida útil del proyecto. El tiempo de repago (Payback) es igual a 2 años.

La Tasa Interna de Retorno TIR es igual a 61%, mayor a la tasa de descuento seleccionada, lo indica que es una inversión aconsejable de realizar. La relación Costo/Beneficios es igual a 1,47 (mayor a 1) lo cual es muy favorable ya que indica que los ingresos son mayores a los egresos.

7.4 VALOR AGREGADO DEL PROCESO

A continuación se muestra el volumen de crudo recuperado en cada caso, teniendo en cuenta el porcentaje de recuperación de Hidrocarburo que ofrece el proveedor nacional y el proveedor extranjero, y cuanto representa económicamente para las empresas generadoras del residuo aceitoso retornar el crudo recuperado a sus procesos en las facilidades de producción. Para el caso de estos cálculos se supone un valor de USD\$40 por barril recuperado de crudo y se asume un porcentaje de aceite del 40% de acuerdo al caso base.

Tabla 12. Valor Agregado – Recuperación de Hidrocarburos

RECUPERACION DE HIDROCARBUROS/ VALOR AGREGADO		
	PROVEEDOR EXTRAJERO	PROVEEDOR NACIONAL
FACTOR DE RECOBRO HIDROCARBUROS	98%	93%
BARRIL/MES	8.820	8.820
PORCENTAJE DE HIDROCARBURO	40%	40%
ACEITE CONTENIDO (BARRIL/MES)	3.528	3.528
BARRIL RECUPERADO/MES	3.457	3.281
\$US/BARRIL RECUPERADO	\$ 40	\$ 40
\$US/MES	\$ 138.298	\$ 131.242
\$COP/MES	\$ 246.169.728	\$ 233.610.048
\$COP/AÑO	\$ 2.954.036.736	\$ 2.803.320.576

Como se observa en la tabla anterior, el factor de recuperación de crudo para ambos equipos es alto, lo que proporciona altos volúmenes de hidrocarburo recuperado. Al convertir los barriles recuperados en dinero que recupera la compañía generadora del residuo aceitoso, se puede apreciar que el valor anual justifica económicamente la utilización de esta técnica de tratamiento.

7.5 ANÁLISIS DE ASPECTOS ECONÓMICOS

Observando los resultados obtenidos para cada caso, queda claro que el proyecto de la puesta en marcha y operación de una planta de Desorción Térmica es rentable y viable, sin importar si se adquiere una máquina nacional o extranjera.

Al tomar como referente el Valor Presente Neto (VPN) de los dos casos estudiados, se puede decir que los dos proyectos son viables ya que el valor de los VPN es positivo. Sin embargo, el VPN del proyecto adquiriendo la maquina nacional (**COP\$15.358.917.470**) es mayor que el VPN del proyecto si se compra el equipo extranjero (**COP\$13.317.499.082**).

Al analizar la Relación Costo/Beneficio se observa que en los dos casos evaluados es mayor a uno (1), lo que indica que los ingresos totales son mayores a los egresos totales del proyecto; se tiene que este indicador difiere en 0,02 al comparar los resultados obtenidos para el Proveedor Nacional (**1,47**) y el Proveedor Extranjero (**1,45**); por lo cual se puede considerar que la relación Costo/Beneficio es la misma para los dos proyectos estudiados.

El tiempo de repago si se adquiere el equipo nacional es de (2) dos años, mientras que si se adquiere la maquina extranjera es será de (3) tres años; cabe anotar que los resultados en el tiempos de repago son un indicador de que la inversión se recuperará en un corto plazo en los dos proyectos evaluados.

Durante el análisis económico, se observó que la mayor diferencia que existe entre los dos proyectos en el aspecto financiero es el monto de la Inversión, ya que el CAPEX para el proyecto con el proveedor Extranjero supera en *COP\$ 2.870.000.000* el CAPEX del proyecto con el proveedor Nacional.

Haciendo referencia a los costos operacionales de los dos proyectos, estos son muy similares, debido a que las dos máquinas operan bajo las mismas premisas y los mismos requerimientos. Los dos ítems de costos operacionales que difieren entre los dos proyectos son el consumo de combustible el cual es 15% mayor en el equipo nacional y el mantenimiento de la máquina del proveedor extranjero, el cual se hace más costoso por las visitas del técnico desde Canadá una vez al año.

CONCLUSIONES

El proyecto de la puesta en marcha de una planta de tratamiento de residuos aceitosos por Desorción Térmica es viable técnica y económicamente.

Se determinó e identificó los tipos de residuos aceitosos y la composición para los cuales es susceptible la aplicación del proceso de Desorción Térmica.

Se realizó para un caso base tomando los residuos de tres estaciones de producción la evaluación económica de la puesta en marcha de un equipo de Desorción Térmica en el país.

Al plantear la posibilidad de compra de un equipo de proveedor nacional o extranjero de un proceso de Desorción Térmica, se encontró que los dos casos cumplen con las características técnicas requeridas para que su operación sea viable y eficiente.

La evaluación Económica del Proceso de Desorción Térmica de los dos casos, donde se propone la compra de una planta Nacional o Extranjera, arrojó como resultado que ambos proyectos son rentables y viables, se obtuvieron indicadores favorables para la ejecución del proyecto como VPN positivos, TIR mayor a la tasa de descuento seleccionada, Relación Costo/Beneficio mayor a 1 y un corto tiempo de repago comparado con la vida útil del proyecto en ambos casos.

Se concluye que la evaluación económica para los dos casos de estudio es definitiva para tomar una decisión con respecto a la compra del equipo de Desorción Térmica, debido a que la Inversión requerida para la compra del equipo ofrecido por el Proveedor Extranjero es 56% mayor que la Inversión requerida para la compra del equipo Nacional.

El proveedor seleccionado después de realizar la evaluación técnico económica es el Proveedor Nacional, ya que técnicamente cumple con la normatividad ambiental Colombiana y recupera un alto porcentaje de Hidrocarburo (>90%), además como se dijo anteriormente la inversión es menor comparada con la maquina extranjera, sin embargo su Valor Presente Neto difiere en solo un 13% con respecto al VPN del equipo extranjero y su tiempo de repago es menor. De lo cual se puede concluir que ejecutar la puesta en marcha de una Planta de Desorción Térmica con un equipo Nacional es un negocio aconsejable de ejecutar por su alta rentabilidad.

El equipo ofrecido por el Proveedor Extranjero tiene ciertas ventajas técnicas sobre el equipo Nacional, sin embargo debido a la gran inversión que se tendría que hacer al inicio del proyecto, para efectos de la elaboración de este documento, se concluye que no se justifica una mayor inversión para aumentar un 5% en la eficiencia de la recuperación de Hidrocarburos que se traduce en COP\$150.716.160 anuales, si el orden del valor del hidrocarburo total recuperado en un año es de más de Dos mil millones de Pesos Colombianos.

BIBLIOGRAFIA

- ARIAS, José Manuel y SANCHEZ, Elías. TRATADORAS TÉRMICAS DE RESIDUOS PELIGROSOS: CASO TABASCO. México 2002. Estudio de investigación. Asociación Ecológica Santo Tomás.
- BENAVIDES J, QUINTERO G, GUEVARA A, JAIMES D, GUTIERREZ S, MIRANDA J. Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos derivados del petróleo. Bogotá 2006. NOVA - Publicación Científica. VOL.4. No. 5. Pág. 82-91.
- BRAVO O, SANCHEZ M. Gestión Integral de Riesgos. Bogota. 2009. Bravo & Sánchez EU. Tercera Edición.
- BRISSIO, Pedro Augusto. Evaluación preliminar del estado de contaminación en suelos de la provincia del Neuquén donde se efectúan actividades de explotación hidrocarburífera. Argentina 2005. Tesis de Grado. Universidad Nacional del Comahue. Laboratorios de la Escuela Superior de Salud y Ambiente. Departamento de Química de la Facultad de Ingeniería.
- CARDENAS SALAZAR, Julián. Diseño e implementación del programa basado en un controlador lógico programable para automatizar la unidad de desorción térmica anaeróbica adquirida por ATP INGENIERÍA LTDA. Bogotá 2010. Trabajo de grado. (Ingeniería Electrónica). Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Facultad de Ingeniería.
- CARDONA V, RODRIGUEZ Neder. Propuesta para el diseño e implementación de un esquema de manejo, tratamiento integral y recuperación de crudo, aguas para reinyección y salmueras para reutilización, de los residuos aceitosos, generados por la operación del Campo Petrolero ubicado en el corregimiento El Centro, Municipio de Barrancabermeja, Santander. Trabajo de Grado (Especialista en Química Ambiental). Bucaramanga. 2011. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ciencias.
- CERVANTES, Juan Gallardo. Evaluación Económica Y Financiera: Proyectos Y Portafolios de Inversión Bajo Condiciones de Riesgo. México DF. 2002.

- CRUZ, Osaín. 2008. [En línea]. Evaluación económica y financiera de proyectos. Disponible en web: <http://www.monografias.com/trabajos55/evaluacion-economica-proyectos/evaluacion-economica-proyectos3.shtml>
- DORRONSORO, Carlos. Descontaminación de Suelos. Máster en Ingeniería del Medio Ambiente. Módulo de Suelos. Facultad de ciencias Nueva Granada. [En línea]. Disponible en web: <http://edafologia.ugr.es/desconta/quimicas3.pdf>.
- EPA. Guía del Ciudadano para la Desorción Térmica. 2001. [En línea]. Disponible en web: <http://www.clu-in.org/download/citizens/td-sp12-6.pdf>
- GARZON, Carlos Alberto. Hacia una política de gestión integral de pasivos ambientales en Colombia. Trabajo de Grado (Magister en Ingeniería Ambiental) Bogotá. 2012. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería.
- GROSSO, Jorge Luis. Tendencias de biorremediación para la industria petrolera. Instituto Colombiano del Petróleo. [En línea]. Disponible en web: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/acodal/xxi.pdf>
- HALLIBURTON. Thermal desorption solutions. [En línea]. Disponible en web: <http://www.halliburton.com/ps/default.aspx?pageid=1703&prodid=PRN::JNLK9SE8Z>
- LÚ CHAU, Thelmo. Biorremediación. [En línea]. Universidad Santiago de Compostela. Santiago de Compostela España. Disponible en web: <http://www.usc.es/uscmn/investigacion/documento/Prestige-Biorremediaci%20F3n.pdf>
- MARIN SAN PEDRO, Ana Fabiola. Optimización de los tratamientos de desorción térmica de suelos contaminados por hidrocarburos derivados del petróleo. Madrid 2010. Trabajo de grado (Tesis Doctoral) Universidad Politécnica de Madrid. Ingeniería Civil: Ordenación del Territorio, Urbanismo y Medio Ambiente. E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos.
- ORTINEZ, Oscar, LEMA Irina y GAVILAN Arturo. La restauración de suelos contaminados en México. Gaceta ecológica. Instituto Nacional de Ecología. Edición 69. 2003

- PELLINI, Leandro. Biorremediación estimulada por efluentes cloacales tratados de suelos contaminados con hidrocarburos. Argentina 2006. Tesis de Grado. Universidad Nacional del Comahue. Laboratorios de la Escuela Superior de Salud y Ambiente. Departamento de Química de la Facultad de Ingeniería.
- PEREZ, Martha Ilce y CALDERON, Zuly. Orientaciones practicas para la elaboración exitosa de trabajos de grado de ingeniería. División de publicaciones UIS. Universidad Industrial de Santander. 2010. Bucaramanga 191p.
- SEPULVEDA, Tania y VELASCO, Juan Antonio. Tecnologías de remediación para suelos contaminados. Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT). México 2002. 64p.
- SUAREZ, Lina María. Desarrollo de un método químico para recuperación de crudo a partir de las borras generadas en los procesos de mantenimiento de tanques y tuberías en distritos de producción petroleros de Colombia. Bogotá 2011. Trabajo de grado (Ingeniera Química). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Química.
- TORRES, Katerine y ZULUAGA, Tatiana. Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos. Medellín 2009. Trabajo de grado. (Ingeniería Química). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas. Ingeniería Química.
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA). 2001. [En línea]. Treatment Technologies for Site Cleanup: Annual Status Report. 10th Edition. Office of Solid Waste and Emergency Response. Disponible en web: <http://www.epa.gov/superfund/remedytech/>

ANEXOS

ANEXO A EVALUACION EN EXCEL I

MEDICIÓN DEL VALOR DEL PROYECTO												
PROYECTO: PLANTA DE TRATAMIENTO DESORCIÓN TÉRMICA EXTRANIERA												
1. GENERALIDADES												
Periodo de Inversión (años):	1	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Periodo de Operación (años):	10	-	106.840	116.424	123.666	140.873	154.980	170.456	187.502	206.252	226.877	249.365
Vida útil activos fijos:	10	-	50.000	51.250	52.531	53.845	55.191	56.570	57.985	59.434	60.920	62.443
Año base para el análisis a precios constantes	2012	-	5.292.000.000	5.966.730.000	6.772.488.075	7.585.240.855	8.552.246.262	9.642.787.223	10.877.242.207	12.258.463.662	13.821.406.492	15.588.656.800
Volumen de Residuos a recibir (Baril/mes)	8820	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Precio de tratamiento (COP/Baril)	590.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Porcentaje de Impuestos:	15%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tasa de descuento:	10%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. CAPEX (COP)												
EQUIPO DESORCIÓN (m3/h)	54.500.000.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
IMPORTACION (20%)	9.900.000.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LICENCIA AMBIENTAL	5.000.000.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TERRENO 1 Ha	5.000.000.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CAMIONETA DOBLE CABINA	370.000.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
VOLQUETA DOBLE TIRQUE	500.000.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RETROCARGADOR	520.000.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	56.590.000.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
INGRESOS (COP)												
Bariles a tratar por año	10%	-	2.974.040.000	3.353.302.260	3.789.848.298	4.282.906.465	4.826.427.029	5.419.246.076	6.110.200.407	6.889.250.952	7.767.604.449	8.758.003.331
SCOP/ Baril	IPC	-	80.094.239	80.094.239	80.094.239	80.094.239	80.094.239	80.094.239	80.094.239	80.094.239	80.094.239	80.094.239
	10	-	499.000.000	499.000.000	499.000.000	499.000.000	499.000.000	499.000.000	499.000.000	499.000.000	499.000.000	499.000.000
+ Ingresos												
- Egresos		-	3.054.198.239	3.433.336.899	3.869.942.337	4.343.000.895	4.865.521.289	5.439.340.715	6.159.294.640	6.965.345.192	7.847.724.688	8.838.097.570
Flujo Bruto		-	2.237.801.761	2.533.333.301	2.866.546.598	3.242.342.109	3.666.889.994	4.149.446.608	4.681.940.669	5.289.108.460	5.973.881.804	6.745.538.292
- Depreciación		-	499.000.000	499.000.000	499.000.000	499.000.000	499.000.000	499.000.000	499.000.000	499.000.000	499.000.000	499.000.000
Flujo Neto Antes de Impuestos		-	1.738.801.761	2.034.333.301	2.367.546.598	2.743.342.109	3.166.889.994	3.649.446.608	4.182.940.669	4.790.108.460	5.474.881.804	6.246.538.292
- Impuestos		-	278.208.282	325.493.360	378.807.286	438.938.737	506.698.399	581.111.677	669.271.691	766.477.584	875.940.089	999.446.120
Flujo Neto Después de Impuestos		-	1.460.593.479	1.708.840.411	1.988.739.312	2.304.403.372	2.660.165.595	3.068.335.151	3.513.676.376	4.023.630.876	4.598.941.715	5.247.092.130
+ Depreciación		-	499.000.000	499.000.000	499.000.000	499.000.000	499.000.000	499.000.000	499.000.000	499.000.000	499.000.000	499.000.000
- Inversiones		-	-5.590.000.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Flujo de Caja		-	1.959.593.479	2.207.840.411	2.487.739.312	2.803.403.372	3.159.165.595	3.569.355.151	4.012.676.376	4.522.630.876	5.097.732.716	5.746.092.130
SCOP												
VPN Proyecto	\$	3.377.459.092										
TIR		37%										
VPN Beneficios	\$	43.326.622.710										
VPN Costos	\$	30.065.369.131										
Relación Costo Beneficio		1,45										

ANEXO B EVALUACION EN EXCEL II

MEDICIÓN DEL VALOR DEL PROYECTO												
PROYECTO: PLANTA DE TRATAMIENTO DESORCIÓN TÉRMICA NACIONAL												
GENERALIDADES												
Período de Inversión (años):	1	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Período de Operación (años):	10											
Número de iteraciones (años):	10											
Año base para el análisis a precios constantes	2012											
Volumen de Residuos a recibir (Barril/mes)	8820											
Precio de tratamiento (COP/BBL)	550.000											
Porcentaje de Impuestos:	16%											
Tasa de descuento:	10%											
2. CAPITAL (COP)												
EQUIPO DESORCIÓN (Am3/h)	\$ 2.500.000,00											
LICENCIA AMBIENTAL	\$ 300.000,00											
TERRENO 1 Ha	\$ 400.000,00											
CAMIONETA DOBLE CABINA	\$ 70.000,00											
MOTOCICLETA DOBLE TROQUE	\$ 300.000,00											
RETROCAMBIO	\$ 150.000,00											
	\$ 7.720.000,00											
Barriles a tratar por año	10%											
SCOP / Barril	IPC											
INGRESOS (COP)												
Costos de Operación (% sobre Ingresos)	5%											
Amortización												
Depreciación Activos (Método Udea Recta): Años	10											
SCOP												
+ Ingresos												
- Egresos												
Flujo Neto												
- Depreciación												
Flujo Neto Antes de Impuestos												
- Impuestos												
Flujo Neto Después de Impuestos												
+ Depreciación												
- Inversiones												
Flujo de Caja												
VPN												
VPN Proyecto	\$ 15.585.974,40											
TIR	61%											
VPN Beneficios	\$ 43.586.622,710											
VPN Costos	\$ 29.703.873,482											
Relación Costo/Beneficio	1,47											