

TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE BORRAS GENERADAS EN LAS
OPERACIONES DE PRODUCCIÓN DE CAMPOS PETROLEROS

MARLON ROLANDO MORENO INFANTE

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
ESPECIALIZACIÓN EN PRODUCCIÓN DE HIDROCARBUROS
BUCARAMANGA

2012

TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE BORRAS GENERADAS EN LAS
OPERACIONES DE PRODUCCIÓN DE CAMPOS PETROLEROS

MARLON ROLANDO MORENO INFANTE

Monografía para optar al título de
Especialista en Producción de Hidrocarburos

Director
Esp. Harving Díaz Consuegra

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
ESPECIALIZACIÓN EN PRODUCCIÓN DE HIDROCARBUROS
BUCARAMANGA

2012

DEDICATORIA

A mi mamá por estar a mi lado, por motivarme a estudiar y buscar nuevos horizontes y porque sin su apoyo incondicional este proyecto no sería posible.

A mi hermano por recordarme la importancia de la familia y estar pendiente de mí.

A mi papá por estar guiándome en todos los momentos.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	17
1. RESIDUOS PELIGROSOS	19
1.1 DEFINICIONES	19
1.2 CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS O DESECHOS PELIGROSOS	21
1.2.1 Clasificación de acuerdo a las características que lo hacen peligroso.....	21
1.2.2 Clasificación de acuerdo a las propiedades físicas, químicas o biológicas.....	24
1.2.3 Clasificación de acuerdo a los procesos o actividades.....	25
1.2.4 Clasificación de acuerdo a las corrientes de residuos	25
1.3 GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS PELIGROSOS.....	26
1.4 POLÍTICA AMBIENTAL PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS O DESECHOS PELIGROSOS.....	28
1.5 JERARQUÍA EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS	28
2. MARCO NORMATIVO VIGENTE PARA LA GESTIÓN AMBIENTAL	31
2.1 LEY 23 DE 1973.....	31
2.2 DECRETO 2811 DE 1974	32
2.3 DECRETO 1541 DE 1978	33
2.4 LEY 9 DE 1979.....	34
2.5 DECRETO 1594 DE 1984	35
2.6 RESOLUCIÓN 2309 DE 1986.....	36
2.7 CONSTITUCIÓN POLÍTICA NACIONAL DE COLOMBIA DE 1991	37
2.8 LEY 99 DE 1993.....	38
2.9 DECRETO 948 DE 1995.....	41
2.10 LEY 430 DE 1998.....	41
2.11 RESOLUCIÓN 415 DE 1998.....	42
2.12 DECRETO 321 DE 1999.....	42

2.13	DECRETO 1713 DE 2002	43
2.14	DECRETO 4741 DE 2005	44
2.15	RESOLUCIÓN 1402 DE 2006.....	45
2.16	LEY 1252 DE 2008	46
2.17	LEY 1333 DE 2009	47
2.18	DECRETO 2820 DE 2010	48
2.19	DECRETO 3930 DE 2010	50
2.20	DECRETO 4728 DE 2010	50
3.	GENERACIÓN DE BORRAS EN OPERACIONES DE PRODUCCIÓN	51
3.1	BORRAS ACEITOSAS.....	51
3.2	DAÑOS AMBIENTALES POR MANEJO INADECUADO DE BORRAS ACEITOSAS.....	53
3.3	CAMPOS DE PRODUCCIÓN	53
3.4	OPERACIONES DE PRODUCCIÓN	54
3.4.1	Deshidratación de hidrocarburos.....	55
3.4.2	Tratamiento de agua de producción.....	59
4.	ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE BORRAS	67
4.1	MANEJO INTEGRAL DE BORRAS	67
4.2	PROCEDIMIENTO PARA LA SELECCIÓN DE TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE BORRAS.....	69
4.3	MÉTODOS DE TRATAMIENTO DE BORRAS	70
4.3.1	Lechos de secado	70
4.3.2	Desorción térmica	72
4.3.3	Extracción con solvente	73
4.3.4	Decantación	75
4.3.5	Centrifugación.....	76
4.3.6	Deshidratación (Dewatering).....	77
4.3.7	Estabilización/Solidificación.....	79
4.4	ALTERNATIVAS PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS	80

4.4.1	Alternativas <i>in situ</i> y <i>ex situ</i> para la disposición final de los residuos	81
4.4.2	Biorremediación.....	81
4.4.2.1	Landfarming (tratamiento en tierra)	83
4.4.2.2	Biopilas.....	86
4.4.2.3	Bioventeo.....	87
4.4.2.4	Fitorremediación.....	88
4.4.3	Incineración.....	89
5.	CONCLUSIONES.....	93
6.	RECOMENDACIONES	95
	BIBLIOGRAFÍA.....	96

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Concentraciones máximas de contaminantes para la prueba TCLP	27
Tabla 2. Principios generales de política ambiental colombiana según Ley 9 de 1999	39
Tabla 3. Ventajas y desventajas de las alternativas <i>In situ</i> y <i>Ex situ</i>	82

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Jerarquía en la Gestión de Residuos Peligrosos	29
Figura 2. Esquema general de las operaciones de producción	55
Figura 3. Diagrama típico de deshidratación de hidrocarburos.....	57
Figura 4. Diagrama del tratamiento de agua de producción	63
Figura 5. Esquema para la toma de decisiones con respecto al manejo integral de borras.....	68
Figura 6. Estrategia conceptual para determinar la incinerabilidad de un residuo	90
Figura 7. Tren de tratamiento de borras y disposición final.....	92

LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1. Borras generadas en un campo de producción	51
Imagen 2. Borras generadas en un campo de producción	52
Imagen 3. Borras acumuladas después de la limpieza de tanques en un campo de producción	58
Imagen 4. Piscina de recibo de agua de producción	60
Imagen 5. Agua de producción finalizado el tratamiento	64
Imagen 6. Borras acumuladas en las unidades de flotación	65
Imagen 7. Borras generadas durante el tratamiento del agua de producción.....	66
Imagen 8. Lechos de secado de un campo de producción de hidrocarburos	72
Imagen 9. Centrífuga Decantadora Tricanter.....	77
Imagen 10. Borras acumuladas en una fosa de almacenamiento de un campo de producción	80
Imagen 11. Técnica de Landfarming aplicada en un campo de producción de hidrocarburos	84
Imagen 12. Técnica de Landfarming aplicada en un campo de producción de hidrocarburos	85
Imagen 13. Incinerador de residuos industriales.....	91

LISTA DE ABREVIATURAS

Abreviatura

API	: American Petroleum Institute.
Bq	: Bequerelio.
BS&W	: Basic Sediment and Water.
COMESA	: Compañía Mexicana de Exploraciones S.A.
EPA	: Environmental Protection Agency.
FWKO	: Free Water Nock Out.
MA	: Ministerio de Agricultura.
MAVDT	: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
MI	: Ministerio del Interior.
MMA	: Ministerio de Medio Ambiente.
nCi	: nano Curie.
OCADE	: Organización de Control Ambiental y Desarrollo Empresarial.
PNC	: Plan Nacional de Contingencia.
ppm	: partes por millón.
UFC	: Unidades Formadores de Colonias.
UPB	: Universidad Pontificia Bolivariana.

GLOSARIO

Agente emulsificante: compuestos que facilitan la formación de la emulsión.

Becquerelios: es una unidad del Sistema Internacional de Unidades que mide la actividad radiactiva.

Coagulación: es la adición de productos químicos al agua, los cuales causan que las partículas se agrupen en otras más grandes cuando entren en contacto. Normalmente, el proceso completo ocurre en menos de un segundo.

Desemulsificante: compuestos que ayudan al rompimiento de la emulsión.

Emulsión: es una mezcla de líquidos inmiscibles, en donde uno de los líquidos (fase dispersa) está disperso en el otro en forma de gotas (fase continua).

Emulsiones inversas: en la industria del petróleo, es aquella que tiene como fase continua agua y como fase dispersa aceite.

Exudados radiculares: cualquiera de las sustancias segregadas a través de las raíces de las plantas, las cuales promueven la biodegradación de la contaminación orgánica.

Floculación: generalmente es seguida por la coagulación y puede describirse como la aglomeración de las partículas coaguladas. El proceso de floculación involucra una mezcla de partículas hasta que los flóculos (flocs) son formados.

Inocuos: no perjudiciales ni dañinos.

Nanocuries: es una antigua unidad que mide la actividad radiactiva, nombrada así en homenaje a los físicos y químicos Pierre y Marie Curie.

Priones: agente infeccioso, constituido exclusivamente por proteínas, que produce alteraciones neurodegenerativas contagiosas en diversas especies animales.

Rickettsias: microorganismos que podrían considerarse como intermedios entre bacterias y virus ya que comparten características de ambos.

Rompedor: son productos que al igual que los desemulsificantes facilitan el rompimiento de la emulsión.

Rompedores inversos: compuestos que ayudan en el rompimiento de las emulsiones inversas.

Tricanter: equipo de separación mecánica que permite la separación de las fases de un residuo acuoso.

RESUMEN

TITULO: TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE BORRAS GENERADAS EN LAS OPERACIONES DE PRODUCCIÓN DE CAMPOS PETROLEROS*

AUTOR: MARLON ROLANDO MORENO INFANTE**

PALABRAS CLAVES: Borrás, residuos peligrosos, gestión integral de residuos, operaciones de producción.

CONTENIDO:

Un gran número de leyes y normas ambientales han sido aprobadas en las últimas décadas referentes a la ejecución de obras y actividades de la industria del petróleo. Las operaciones de producción de hidrocarburos en los campos petroleros tienen potencial de impactar el medio ambiente de diferentes formas. Uno de los aspectos de mayor interés para la gestión ambiental de los campos de producción, es la administración de los residuos generados en todas las etapas del proceso. Estos desechos son considerados como residuos peligrosos y por consiguiente requieren de un tratamiento específico que permita su aprovechamiento al máximo y disposición final adecuada.

Esta monografía fue desarrollada como una herramienta de consulta de: el marco legal vigente respecto al manejo integral de residuos peligrosos, origen de borras debido a las operaciones de producción de un campo petrolero y alternativas de tratamiento y disposición final para este tipo de residuos. De tal forma que oriente al profesional en la toma de decisiones respecto a la selección de un tratamiento que permita realizar una disposición final adecuada ajustándose a los requerimientos ambientales.

Según su composición y/o caracterización fisicoquímica, las borras inicialmente deben someterse a un tratamiento que permita: reducir el volumen del residuo, remover la mayor cantidad de agua, reducir el potencial de peligro del residuo, recuperar la mayor cantidad de aceite, modificar el estado del residuo, de modo tal que permita ser utilizado en las alternativas para disposición final. Una vez realizado el tratamiento de las borras, los desechos deben ir a disposición final, la cual debe satisfacer los siguientes objetivos de calidad: el método o técnica de disposición debe estar acorde con las características del residuo, la disposición debe pensarse teniendo en cuenta los efectos ambientales del método o técnica adoptada.

*Trabajo de grado.

**Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Ing. Harving Díaz Consuegra.

ABSTRACT

TITLE: TREATMENT AND DISPOSAL OF OILY WASTES FROM OILFIELD PRODUCTION OPERATIONS*

AUTHOR: MARLON ROLANDO MORENO INFANTE**

KEYWORDS: Oily wastes, hazardous wastes, integrated waste management, production operations.

CONTENTS:

A large number of environmental laws and regulations have been adopted in recent decades with respect to the execution of works and activities of the oil industry. The oil production operations in the oil fields have potential to impact the environment in different ways. One of the most interesting aspects of environmental management in the oilfields is the management of waste generated at all stages of the process. These wastes are considered hazardous waste and therefore require special treatment to allow its use to the fullest and final disposal.

This monograph was developed as a query tool: the legal framework regarding the integrated management of hazardous waste, oily wastes origin due to the oilfield production operations, their treatment and disposal. So that guide the professional in making decisions regarding the selection of a treatment to make a proper disposal in line with environmental requirements.

Depending on the composition and / or physicochemical characterization, oily wastes must initially undergo treatment to: reduce the volume of waste, remove water, reduce the potential hazard of the waste, recover oil, change the residue status, so as to allow use on alternatives for disposal. Once the oily waste treatment, waste disposal should go, which must meet the following quality objectives: the method or technique of disposal must be in accordance with the characteristics of the waste, the disposal should be thought taking account the environmental effects of the method or technique adopted.

*Degree Project.

**Physical-Chemical Engineerings Faculty. Petroleum Engineering. Eng. Harving Díaz Consuegra.

INTRODUCCIÓN

La conservación, protección y preservación del medio ambiente son responsabilidades de cada ser humano. Por lo tanto, los recursos naturales han de ser utilizados de manera óptima, sin afectar negativamente tanto la salud de las personas como el medio ambiente.

La degradación del ecosistema tiene origen en factores tales como: el uso irracional de los recursos naturales, crecimiento demográfico, así como el inadecuado desarrollo de las actividades productivas. El estado debe adoptar medidas para proteger el medio ambiente y salvaguardar los bosques y la vida silvestre del país. Esto implica que el desarrollo social, económico e industrial, debe satisfacer las necesidades actuales de la población, sin comprometer la capacidad de desarrollo de futuras generaciones.

Un gran número de leyes y normas ambientales han sido aprobadas en las últimas décadas referentes a la ejecución de obras y actividades de la industria del petróleo. Las cuales son consideradas a nivel mundial como una de las más complejas debido a la diversidad de operaciones que implican su desarrollo. Esta situación la convierte en una de las industrias de más alto riesgo y potencialmente contaminadora.

Las operaciones de producción de hidrocarburos en los campos petroleros tienen potencial de impactar el medio ambiente de diferentes formas. Uno de los aspectos de mayor interés para la gestión ambiental de los campos de producción, es la administración de los residuos generados en todas las etapas del proceso.

Un aspecto importante de las operaciones de producción es el tratamiento del agua producida, siendo esta etapa en donde se genera el mayor volumen de residuos conocidos como borras. Estos desechos son considerados como residuos peligrosos y por consiguiente requieren de un tratamiento específico que permita su aprovechamiento al máximo y disposición final adecuada.

La selección incorrecta de una alternativa de tratamiento de borras tiene como consecuencia:

- ❖ Bajo aprovechamiento de las borras.
- ❖ Disposición inadecuada del residuo.
- ❖ Sobrecostos en la operación.

Por lo anterior, esta monografía es desarrollada como una herramienta de consulta de: el marco legal vigente respecto al manejo integral de residuos peligrosos, origen de borras debido a las operaciones de producción de un campo petrolero y alternativas de tratamiento y disposición final para este tipo de residuos. De tal forma que oriente al profesional en la toma de decisiones respecto a la selección de un tratamiento que permita realizar una disposición final adecuada ajustándose a los requerimientos ambientales.

1. RESIDUOS PELIGROSOS

1.1 DEFINICIONES

Es necesario establecer definiciones precisas de los términos relacionados con los residuos peligrosos. A continuación se presentan aquellas de mayor importancia y que están basadas en las definiciones utilizadas en la legislación colombiana.

Almacenamiento: es el depósito temporal de residuos o desechos peligrosos en un espacio físico definido y por un tiempo determinado con carácter previo a su aprovechamiento y/o valorización, tratamiento y/o disposición final¹.

Aprovechamiento y/o valorización: es el proceso de recuperar el valor remanente o el poder calorífico de los materiales que componen los residuos, por medio de la recuperación, el reciclado o la regeneración¹.

Disposición final: es el proceso de aislar y confinar los residuos o desechos peligrosos, en especial los no aprovechables, en lugares especialmente seleccionados, diseñados y debidamente autorizados, para evitar la contaminación y los daños o riesgos a la salud humana o el medio ambiente¹.

Generador: cualquier persona cuya actividad produzca residuos o desechos peligrosos. Si la persona es desconocida será la persona que está en posesión de estos residuos. Fabricante o importador de un producto o sustancia química con propiedad peligrosa¹.

¹ COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Decreto 4741. (30, diciembre, 2005). Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral. Bogotá D.C.: El Ministerio, 2005. 25 p.

Gestión integral: conjunto articulado e interrelacionado de acciones de política, normativas, operativas, financieras, de planeación, administrativas, sociales, educativas, de evaluación, seguimiento y monitoreo desde la prevención de la generación hasta la disposición final de los residuos o desechos peligrosos, a fin de lograr beneficios ambientales, la optimización económica de su manejo y su aceptación social, respondiendo a las necesidades y circunstancias de cada localidad o región¹.

Manejo integral: es 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, para proteger la salud humana y el ambiente contra los efectos nocivos temporales y/o permanentes que puedan derivarse de tales residuos o desechos¹.

Remediación: conjunto de medidas a las que se someten los sitios contaminados para reducir o eliminar los contaminantes hasta un nivel seguro para la salud y el ambiente o prevenir su dispersión en el ambiente sin modificarlos.

Residuo o desecho: es cualquier objeto, material, sustancia, elemento o producto que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, cuyo generador descarta, rechaza o entrega porque sus propiedades no permiten usarlo nuevamente en la actividad que lo generó o porque la legislación o la normatividad así lo estipula¹.

Residuo o desecho peligroso: es aquel residuo o desecho que por sus características puede causar riesgo o daño para la salud humana y el medio

ambiente. Así mismo, se considera residuo o desecho peligrosos los envases, empaques y embalajes que hayan estado en contacto con ellos¹.

Riesgo: probabilidad o posibilidad de que el manejo, la liberación al ambiente y la exposición a un material o residuo, ocasionen efectos adversos en la salud humana y/o al ambiente¹.

Tenencia: es la que ejerce una persona sobre una cosa, no como dueño, sino en lugar o a nombre del dueño¹.

Tratamiento: es el conjunto de operaciones, procesos o técnicas mediante los cuales se modifican las características de los residuos o desechos peligrosos, teniendo en cuenta el riesgo y grado de peligrosidad de los mismos, para incrementar sus posibilidades de aprovechamiento y/o valorización para minimizar riesgos para la salud humana y el ambiente¹.

1.2 CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS O DESECHOS PELIGROSOS

1.2.1 Clasificación de acuerdo a las características que lo hacen peligroso

Un residuo es peligroso si exhibe una o más de las siguientes características de peligrosidad:

Corrosivo: característica que hace que un residuo o desecho por acción química, pueda causar daños graves en los tejidos vivos que estén en contacto o en caso de fuga puede dañar gravemente otros materiales, y posee cualquiera de las siguientes propiedades¹:

¹ COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Decreto 4741. (30, diciembre, 2005). Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral. Bogotá D.C.: El Ministerio, 2005. 25 p.

- Es acuoso y presenta un PH menor o igual a 2 o mayor o igual a 12,5 unidades.
- Es líquido y corroe el acero a una tasa mayor de 6,35 mm por año a una temperatura de ensayo de 55 °C.

Reactivo: es aquella característica que presenta un residuo o desecho que al mezclarse o ponerse en contacto con otros elementos, compuestos, sustancias o residuos tiene cualquiera de las siguientes propiedades¹:

- Genera gases, vapores y jugos tóxicos en cantidades suficientes para provocar daños a la salud humana o al ambiente o cuando se mezcla con agua.
- Posee, entre sus componentes, sustancias tales como cianuros, sulfuros, peróxidos orgánicos que, por reacción, liberen gases, vapores o humos tóxicos en cantidades suficientes para poner en riesgo la salud humana o el ambiente.
- Es capaz de producir una reacción explosiva o detonante bajo la acción de un fuerte estímulo inicial o de calor en ambientes confinados.
- Produce una reacción endotérmica o exotérmica al ponerse en contacto con el aire, el agua o cualquier otro elemento o sustancia.
- Provoca o favorece la combustión.

Explosivo: se considera que un residuo (o mezcla de residuos) es explosivo cuando en estado sólido o líquido de manera espontánea, por reacción química, puede desprender gases a una temperatura, presión y velocidad tales que pueden ocasionar daño a la salud humana y/o al ambiente, y además presenta cualquiera de las siguientes propiedades¹:

- Forma mezclas potencialmente explosivas con el agua.
- Es capaz de producir fácilmente una reacción o descomposición detonante o explosiva a temperatura de 25 °C y presión de 1,0 atmósfera.
- Ser una sustancia fabricada con el fin de producir una explosión o efecto pirotécnico.

Inflamable: característica que presenta un residuo o desecho cuando en presencia de una fuente de ignición, puede arder bajo ciertas condiciones de presión y temperatura, o presenta cualquiera de las siguientes propiedades¹:

- A una temperatura de 20 °C y 1,0 atmósfera de presión arde en una mezcla igual o menor al 13% del volumen del aire.
- Es un líquido cuyo punto de inflamación es inferior a 60 °C de temperatura, con excepción de las soluciones acuosas con menos de 24% de alcohol en volumen.
- Es un sólido con la capacidad bajo condiciones de temperatura de 25 °C y presión de 1,0 atmósfera, de producir fuego por fricción, absorción de humedad o alteraciones químicas espontáneas y quema vigorosa y persistentemente dificultando la extinción del fuego en otro material.

Infecioso: un residuo o desecho con características infecciosas se considera peligroso cuando contiene agentes patógenos; los agentes patógenos son microorganismos (tales como bacterias, parásitos, virus, rickettsias y hongos) y otros agentes tales como priones, con suficiente virulencia y concentración como para causar enfermedades en los seres humanos o en los animales¹.

Radioactivo: se entiende por residuo radioactivo, cualquier material que contenga compuestos, elementos o isótopos, con una actividad radiactiva por unidad de

masa superior a 70 kBq/kg (setenta kilo becquerelios por kilogramos) o 2 nCi/g (dos nanocuries por gramo), capaces de emitir, de forma directa o indirecta, radiaciones ionizantes de naturaleza corpuscular o electromagnética que en su interacción con la materia produce ionización en niveles superiores a las radiaciones naturales de fondo¹.

Tóxico: se considera residuo tóxico aquel que en virtud de su capacidad de provocar efectos biológicos indeseables o adversos puede causar daño a la salud humana y/o al ambiente. Para este efecto se consideran tóxicos los residuos o desechos que se clasifican de acuerdo con los criterios de toxicidad (efectos agudos, retardados o crónicos y ecotóxicos) y para los cuales, según sea necesario, las autoridades competentes establecerán los límites de control correspondientes¹.

1.2.2 Clasificación de acuerdo a las propiedades físicas, químicas o biológicas

De acuerdo a este criterio, se clasifican así:

- **Residuos inorgánicos:** ácidos, álcalis, cianuros y metales pesados¹.
- **Residuos orgánicos:** plaguicidas, solventes halogenados y no halogenados, bifenilos policlorados, dioxinas y furanos¹.
- **Lodos:** lodos del tratamiento de aguas residuales, del trabajo del metal y de la pintura¹.

¹ COLOMBIA. MAVDT/OCADE. Gestión Integral de Residuos o Desechos Peligrosos. Bases conceptuales. Colombia. Bogotá, D.C. 2007. 186 p.

1.2.3 Clasificación de acuerdo a los procesos o actividades

Según el Anexo I del Decreto 4741 de 2005, y basados en el Anexo I del Convenio de Basilea, existen 45 categorías para clasificar los residuos peligrosos por procesos o actividades^{1 2}.

De acuerdo con los anexos, se resalta la categoría Y9:

Y9 Mezclas y emulsiones de desechos de aceite y agua o de hidrocarburos y agua.

1.2.4 Clasificación de acuerdo a las corrientes de residuos

Según el anexo II del decreto 4741 de 2005, existen cuatro (4) corrientes de residuos consideradas como de residuos o desechos peligrosos¹:

A1 Desechos metálicos o que contengan metales (Conformado por 18 categorías).

A2 Desechos que contengan principalmente constituyentes inorgánicos, que puedan contener metales o materia orgánica (Conformado por 6 categorías).

A3 Desechos que contengan principalmente constituyentes orgánicos, que puedan contener metales y materia inorgánica (Conformado por 20 categorías).

¹ COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Decreto 4741. (30, diciembre, 2005). Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral. Bogotá D.C.: El Ministerio, 2005. 25 p.

² CONVENIO DE BASILEA. Sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación. Suiza. Basilea. 1989.

A4 Desechos que puedan contener constituyentes inorgánicos u orgánicos
Conformado por 16 categorías, entre las que se destacan:

A4060 Desechos de mezclas y emulsiones de aceite y agua o de hidrocarburos y agua; y **A4130** Envases y contenedores de desechos que contienen sustancias incluidas en el anexo I, en concentraciones suficientes como para mostrar las características peligrosas del anexo III del decreto 4741 de 2005.

Sin embargo si al realizar una prueba de lixiviación por característica de toxicidad o TCLP la concentración de cada una de las sustancias, elementos o compuestos del desecho o residuo es inferior a la indicada en la Tabla 1, no debe considerarse como residuo peligroso. Por el contrario, si uno o más elementos o compuestos o sustancias son mayores deben considerarse como residuo o desecho peligroso.

1.3 GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS PELIGROSOS

La gestión integral de los residuos peligrosos tiene como objetivo la minimización de los riesgos para los seres humanos y el medio ambiente, a través del adecuado manejo y la disminución de la cantidad y/o peligrosidad de los residuos que llegan a los sitios de disposición final. Implica la planeación de actividades desde la generación hasta la disposición final, con lo cual se pretende evitar y minimizar la generación de residuos e incrementar el aprovechamiento de éstos^{1 2}.

¹ SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE. Dirección de Evaluación, Control y Seguimiento Ambiental. Gestión Integral de Residuos Peligrosos. Colombia. Bogotá D.C. 2008.

² ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ. UPB. Guía para el Manejo Integral de Residuos. ISBN: 978-958-44-3075-5. Colombia. Medellín. 2008.

Tabla 1. Concentraciones máximas de contaminantes para la prueba TCLP

Contaminante	Número CAS ¹	Nivel máximo permisible en el lixiviado (mg/L)
Arsénico	7440-38-2	5,0
Bario	7440-39-3	100,0
Benceno	71-43-2	0,5
Cadmio	7440-43-9	1,0
Tetracloruro de carbono	56-23-5	0,5
Clordano	57-74-9	0,03
Clorobenceno	108-90-7	100,0
Cloroformo	67-66-3	6,0
Cromo	7440-47-3	5,0
o-Cresol	95-48-7	200,0
m-Cresol	108-39-4	200,0
p-Cresol	106-44-5	200,0
Cresol	-	200,0
2,4-D	94-75-7	10,0
1,4-Diclorobenceno	106-46-7	7,5
1,2-Dicloroetano	107-06-2	0,5
1,1-Dicloroetileno	75-35-4	0,7
2,4-Dinitrotolueno	121-14-2	0,13
Endrín	72-20-8	0,02
Heptacloro (y sus epóxidos)	76-44-8	0,008
Hexaclorobenceno	118-74-1	0,13
Hexaclorobuadieno	87-68-3	0,5
Hexacloroetano	67-72-1	3,0
Plomo	7439-92-1	5,0
Lindano	58-89-9	0,4
Mercurio	7439-97-6	0,2
Metoxiclor	72-43-5	10,0
Metil etil cetona	78-93-3	200,0
Nitrobenceno	98-95-3	2,0
Pentaclorofenol	87-86-5	100,0
Piridina	110-86-1	5,0
Selenio	7782-49-2	1,0
Plata	7440-22-4	5,0
Tetracloroetileno	127-18-4	0,7
Toxafeno	8001-35-2	0,5
Tricloroetileno	79-01-6	0,5
2,4,5-Triclorofenol	95-95-4	400,0
2,4,6-Triclorofenol	88-06-2	2,0
2,4,5-TP (silvex)	93-72-1	1,0
Cloruro de vinilo	75-01-4	0,2

CAS= Chemical Abstract Service

Fuente: Subparte 261.24 del Título 40 del Código Federal de Regulaciones de los Estados Unidos de América.

1.4 POLÍTICA AMBIENTAL PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS O DESECHOS PELIGROSOS

La definición de una política para la gestión integral de los residuos peligrosos facilita la planificación estratégica de acciones a corto y mediano plazo. Establece el marco conceptual para el desarrollo de las normas específicas y orienta a los actores en el cumplimiento de los objetivos propuestos ^{1 2}.

- Prevención de generación.
- Reducción de peligrosidad y cantidad.
- Tratamiento y aprovechamiento.
- Promover gestión y manejo seguro.
- Producción y consumo sostenible.
- Responsabilidades comunes pero diferentes entre todos los actores involucrados en la gestión.

1.5 JERARQUÍA EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS

Es necesario definir jerarquías (Figura 1) en la estrategia de gestión. Tendrá como prioridad evitar la generación de residuos a través de la prevención y minimización, y optando como última opción de gestión el tratamiento y la disposición final ^{2 3}.

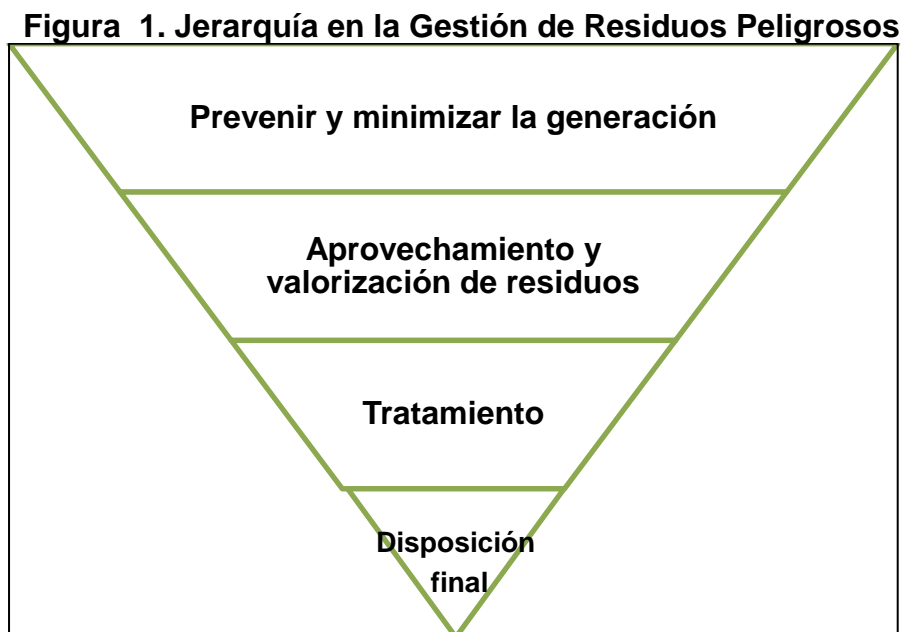
¹ SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE. Gestión Integral de Residuos Peligrosos. Colombia. Bogotá D.C. 2009.

² COLOMBIA. MAVDT/OCADE. Gestión Integral de Residuos o Desechos Peligrosos. Bases conceptuales. Colombia. Bogotá, D.C. 2007. 186 p.

³ RAILROAD COMMISSION OF TEXAS. Waste Minimization in the Oil Field. Oil and Gas Division. U.S. Texas. 2001.

- **Prevenir y minimizar la generación:** se le da la prioridad más alta en la jerarquía de gestión de residuos ya que evita la generación de residuos por completo o la generación de los residuos con menor grado de peligrosidad.

Es decir, los residuos que no se generan no necesitan ser administrados; los residuos que se generan pero en menor volumen y peligro pueden tener una administración más rentable. Esta acción se lleva a cabo a través de la alteración de materias primas, de tecnologías o de cambios en procedimientos.



Fuente: **Waste Minimization in the Oil Field. Oil and Gas Division** ¹

- **Aprovechamiento y valorización de residuos:** por lo general los residuos contienen una carga de compuestos que pueden ser recuperados para su reutilización en el proceso, comercializados como subproductos o procesados para generar nuevos productos.

¹ RAILROAD COMMISSION OF TEXAS. Waste Minimization in the Oil Field. Oil and Gas Division. U.S. Texas. 2001.

- **Tratamiento:** su propósito es modificar las propiedades físicas o químicas de los residuos, además de reducir el volumen y la carga ambiental. El tratamiento debe ser investigado para todos los residuos que se generen y que no puedan ser reciclados o aprovechados. Permite que los residuos sean menos peligrosos, y por lo tanto, facilita el transporte, almacenamiento y disposición.
- **Disposición final:** es la descarga, depósito, inyección, vertido o la colocación final de los residuos en el medio ambiente. En la jerarquía de la gestión de residuos, es la opción menos preferida y su ejecución implica la mayor responsabilidad. La elección de esta opción debe hacerse únicamente después de realizar un estudio cuidadoso del tipo de residuo, de las regulaciones ambientales para esta actividad, volumen del residuo, y las consecuencias a corto y largo plazo de su eliminación al medio ambiente.

2. MARCO NORMATIVO VIGENTE PARA LA GESTIÓN AMBIENTAL

La política ambiental colombiana se rige bajo diferentes principios básicos, los cuales orientan la gestión ambiental de los proyectos industriales. A continuación se hace una descripción de algunos de los principios referentes al desarrollo de las actividades de la industria del petróleo:

2.1 LEY 23 DE 1973

Por el cual se conceden facultades extraordinarias al Presidente de la República para expedir el Código de Recursos Naturales y Protección al Medio Ambiente y se dictan otras disposiciones¹.

Firmada el 19 de diciembre de 1973, consta de 20 Artículos (Art. 18 derogado por el Art. 85 de la Ley 99 de 1993) en los cuales se define el medio ambiente como patrimonio común, constituido por la atmosfera y recursos naturales renovables. Dándose a entender por contaminante aquel elemento (s) que altere la calidad del bienestar, salud de las personas, flora y fauna o los recursos de la Nación o particulares. Así mismo, es deber del Gobierno Nacional divulgar y vigilar la conservación y protección del medio ambiente, y se le confiere al Presidente de la República la facultad para expedir el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente¹.

El objeto de esta Ley, es “prevenir y controlar la contaminación del medio ambiente y buscar el mejoramiento, conservación y restauración de los recursos naturales renovables, para defender la salud y el bienestar de todos los habitantes del Territorio Nacional” tal y como se define en el Artículo 1¹.

¹ LEY 23 DE 1973

2.2 DECRETO 2811 DE 1974

Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente¹.

Fecha de expedición del 18 de diciembre de 1974. El Código se constituye como la principal norma sustantiva que el País posee con respecto al área ambiental. Comprende un conjunto de normas que tienen como referencia un único objetivo¹:

La preservación y manejo sostenible de los recursos naturales renovables del País¹.

El Código se divide en dos libros de la siguiente forma¹:

Libro Primero: Del Ambiente

- Parte I Definición y normas generales de Política Ambiental.
- Parte II De los asuntos ambientales de ámbito o influencia internacionales.
- Parte III Medios de desarrollo de la Política ambiental.
- Parte IV De las normas de preservación ambiental relativas a elementos ajenos a los recursos naturales.

Libro Segundo: De la propiedad, uso e influencia ambiental de los recursos naturales renovables

- Parte I Normas comunes.
- Parte II La atmósfera y el espacio aéreo.
- Parte III Las aguas no marítimas.

¹ DECRETO 2811 DE 1974

- Parte IV Del mar y su fondo.
- Parte V De los recursos energéticos primarios.
- Parte VI Los recursos geotérmicos.
- Parte VII La tierra y los suelos.
- Parte VIII La flora terrestre.
- Parte IX De la fauna terrestre.
- Parte X Los recursos hidrobiológicos.
- Parte XI La protección sanitaria de la fauna y flora.
- Parte XII Los recursos del paisaje y su protección.
- Parte XIII De los modos de manejo de los recursos naturales renovables.

2.3 DECRETO 1541 DE 1978

Por el cual se reglamenta la Parte III del Libro II del Decreto-Ley 2811 de 1974: “De las aguas no marítimas” y parcialmente la Ley 23 de 1973¹.

Firmado a los 26 días del mes de julio de 1978, este Decreto cuenta con 288 Artículos que hacen referencia a la distribución del recurso hídrico, y reglamenta el uso de las aguas. Busca garantizar una distribución equitativa y suficiente del agua según las necesidades básicas y productivas de la población, considerando siempre los requerimientos ambientales. Por consiguiente, busca favorecer el desarrollo económico y social de la nación sin producir daños irreversibles al medio ambiente¹.

En el Título III “De los modos de adquirir derecho al uso de las aguas y sus cauces”- Capítulo IV “Características especiales de algunas concesiones”-Sección

¹ DECRETO 1541 DE 1978

V “Usos mineros y petroleros” se dictan los Artículos 78, 79, 80, 81 y 82 referentes al uso de las aguas para exploración minera y petrolera, los cuales están condicionados igualmente por las disposiciones de los Códigos de Minas y Petróleos y demás normas legales y reglamentarias específicas.

2.4 LEY 9 DE 1979

Por la cual se dictan Medidas Sanitarias¹.

Rige desde el 24 de enero de 1979 y dispone de 601 artículos para preservar, restaurar y mejorar las condiciones sanitarias con el objeto de garantizar el bienestar y la salud humana. Contempla las disposiciones generales de orden sanitario para el manejo, uso, disposición y transporte de residuos sólidos o materiales que afectan o pueden afectar las condiciones sanitarias del Ambiente. Se destacan los siguientes títulos¹:

Título I “Protección del Medio Ambiente”-Artículos 1-50

- Del control sanitario de los usos del agua.
- Residuos líquidos.
- Residuos sólidos.
- De la disposición de excretas.
- De las emisiones atmosféricas.
- Áreas de captación.

Título II “Suministro de Agua”-Artículos 51-79

- Disposiciones generales.
- De las aguas superficiales.

¹ LEY 9 DE 1979

- De las aguas subterráneas.
- De las aguas lluvias.
- De la conducción.
- De las estaciones de bombeo.
- De la potabilización del agua.

2.5 DECRETO 1594 DE 1984

Por la cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI –Parte III- Libro II y el Título III de la Parte III- Libro I- del Decreto-Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos¹.

Firmado a los 26 días del mes de junio de 1984, el Decreto cuenta con 255 Artículos relacionados con las normas y criterios de calidad de los vertimientos¹.

Objetivo de la norma

- Regular la utilización del recurso.
- Prevención de la contaminación del recurso agua.

Obligaciones que genera

- Obtener permiso (concesión) para el uso del agua.
- Cumplir con las normas de vertimiento establecidas para los residuos líquidos.

¹ DECRETO 1594 DE 1984

Para efectos del decreto se tendrán en cuenta los siguientes usos del agua (sin que su enumeración indique el orden de prioridad:

- Consumo humano y doméstico.
- Preservación de flora y fauna.
- Agrícola.
- Pecuario.
- Recreativo.
- Industrial.
- Transporte.

2.6 RESOLUCIÓN 2309 DE 1986

Por la cual se dictan normas para el cumplimiento del contenido del Título III de la Parte IV del Libro I del Decreto-Ley 2811 de 1974 y de los Títulos I, III y XI de la Ley 9 de 1979 en cuanto a residuos especiales¹.

Dado el 24 de febrero de 1986, la Resolución cuenta con 144 Artículos que dictan las normas especiales para la cumplida ejecución de las leyes que regulan los residuos sólidos y concretamente lo referente a Residuos Especiales. Define y reglamenta el manejo de Residuos Peligrosos, los criterios de identificación, tratamiento, registro y disposición final. Establece planes de cumplimiento, vigilancia y seguridad, obligaciones y responsabilidades de los generadores y receptores de residuos peligrosos¹.

Se destacan los siguientes Artículos¹:

¹ RESOLUCIÓN 2309 DE 1986

Artículo 73: Plan de Cumplimiento

Se entiende por Plan de Cumplimiento el programa que debe presentar el solicitante cuando le sea requerido, en el cual se indiquen las acciones a seguir, los recursos a utilizar, las fechas para la presentación de informes de progreso y los plazos indispensables para asegurar que con las actividades a realizar, se cumplen con las exigencias de esta Resolución.

Artículo 74: Contenido del Plan de Cumplimiento

1. Diagrama de flujo.
2. Puntos de generación de residuos especiales.
3. Cantidades y tipos de residuos especiales generados por mes.
4. Alternativa de manejo para cada tipo de residuo especial.
5. Detalles de los procesos de almacenamiento, recolección y transporte.
6. Sitio de localización para disposición y tratamiento final.
7. Caracterización del sitio.
8. Caracterización de los sistemas escogidos de tratamiento y disposición.
9. Cronograma de implantación.
10. Especificaciones técnicas.
11. Manual de emergencias.
12. Características del programa de transporte.

2.7 CONSTITUCIÓN POLÍTICA NACIONAL DE COLOMBIA DE 1991

Los principios generales de la Constitución Política de 1991 dictan como derecho de todas las personas a gozar de un ambiente sano y la protección del patrimonio natural como una función tanto del Estado como de los ciudadanos ^{1 2}.

¹ CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE COLOMBIA 1991.

² RODRÍGUEZ, G. Las licencias ambientales y sus procesos de reglamentación en Colombia. Foro Nacional Ambiental. Colombia. Bogotá D.C. 2011.

Se consagran Artículos los cuales disponen que, el Estado debe proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para lograr estos fines; es deber de las autoridades garantizar la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectar el ambiente sano (Artículo 79). El Estado debe prevenir los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones y exigir la reparación de los daños causados; el Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución (Artículo 80). Es deber del Estado velar por la protección de la integridad del espacio público y por su destinación al uso común, el cual prevalece sobre el interés particular (Artículo 82). Son deberes de la persona y del ciudadano proteger los recursos naturales y culturales del país y velar por la conservación del ambiente sano (Artículo 95). De esta forma, el desarrollo sostenible se constituyó en el principio básico de la política ambiental colombiana. La Constitución obliga a que se señalen objetivos, estrategias, programas, y metas ambientales que deban ser adoptadas por el Gobierno Nacional con el que se garantiza una planeación integral, que considera los aspectos económicos, sociales y ambientales.

2.8 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, y se dictan otras disposiciones ^{1 2}.

Firmada el 22 de diciembre de 1992, consta de 118 Artículos que presenta los

¹ LEY 99 DE 1993

² MMA. Guía ambiental para el desarrollo de campos petroleros. Colombia. Bogotá D.C. 1997.

fundamentos de la política ambiental colombiana, y define una estructura institucional para la gestión del medio ambiente.

La Ley 99, establece que las acciones encaminadas a proteger, conservar y recuperar el medio ambiente son tarea conjunta entre el Estado, el sector privado, la comunidad y las organizaciones no gubernamentales.

Adicionalmente, se crea la Licencia Ambiental como instrumento de gestión y planificación para que desde la etapa inicial de una actividad se contemplen las medidas de prevención, mitigación, corrección, compensación y manejo de los efectos ambientales. Se establece como requisito para toda obra, industria, actividad o proyecto que cause:

- Deterioro grave a los recursos naturales renovables y/o al medio ambiente.
- Modificaciones notorias o considerables al paisaje.

En la Tabla 2 se resumen los principios generales que trascienden a los proyectos de la industria del petróleo.

Principios generales de política ambiental

Tabla 2. Principios generales de política ambiental colombiana según Ley 9 de 1999

PRINCIPIO	COMENTARIOS
El proceso de desarrollo económico y social se orientará según los principios del desarrollo sostenible (Declaración de Río de Janeiro).	Reconoce la necesidad de utilizar recursos del ambiente para el desarrollo económico y social, pero establece el uso racional ya que los recursos son finitos.

La biodiversidad del país, por ser patrimonio nacional y de interés de la humanidad, deberá ser protegida prioritariamente y aprovechada en forma sostenible.	El concepto de biodiversidad se aplica también a la diversidad de razas y culturas del país.
Las zonas de páramos, subpáramos, los nacimientos de agua y las zonas de recarga de acuíferos serán objeto de protección especial.	En la práctica estas áreas están vedadas a la actividad industrial o exploratoria.
En la utilización de los recursos hídricos, el consumo humano tendrá prioridad sobre cualquier otro uso.	Obliga, en los proyectos, a estudiar usos del agua para decidir sobre captaciones.
Principio de precaución.	La adopción de medidas para evitar la degradación ambiental no requiere certeza científica.
El paisaje, por ser patrimonio común, deberá ser protegido.	La afectación del paisaje debe ser analizada en los proyectos.
El EIA será el instrumento básico para la toma de decisiones.	Define el peso de la variable ambiental en la toma de decisiones sobre los proyectos.
El manejo ambiental del país será descentralizado, democrático y participativo.	Reafirma la participación ciudadana en las decisiones ambientales relacionadas con la ejecución de proyectos que puedan afectar el medio ambiente.

Fuente: **Guía ambiental para el desarrollo de campos petroleros**¹

En cuanto a los **residuos especiales** el objetivo de la norma es la prevención de la contaminación mediante la regulación de la generación, manejo, transporte y disposición final de residuos. Genera como obligaciones identificar los residuos especiales, obtener permiso de la autoridad ambiental (autorización sanitaria), y cumplir con las normas sobre manejo y disposición final apoyándose también en la Resolución 2309 de 1986.

¹ MMA. Guía ambiental para el desarrollo de campos petroleros. Colombia. Bogotá D. C. 1997.

2.9 DECRETO 948 DE 1995

Por el cual se reglamentan, parcialmente, la Ley 23 de 1973, los Artículos 33, 73, 74, 75 y 76 del Decreto-Ley 2811 de 1974; los artículos 41, 42, 43, 44, 45, 48 y 49 de la Ley 9 de 1979; y la Ley 99 de 1993, en relación con la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire¹.

Dado a los 5 días del mes de junio de 1995, con un contenido de 138 Artículos, los cuales hacen referencia al reglamento de protección y control de la calidad del aire, monitoreo y se definen las funciones de las Autoridades ambientales locales y regionales¹.

Objetivo de la norma¹

- Preservar la calidad del aire y controlar factores de deterioro (generadores de emisiones atmosféricas, ruido y olores ofensivos).

Obligaciones que genera¹

- Obtener permiso de emisiones atmosféricas.
- Cumplir con las normas de emisión.

2.10 LEY 430 DE 1998

Por la cual se dictan normas prohibitivas en materia ambiental, referentes a los desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones².

¹ DECRETO 948 DE 1995

² LEY 430 DE 1998

Vigente desde el 16 de enero de 1998, con 14 Artículos que consagran la necesidad de minimizar los residuos peligrosos y diseñar estrategias para estabilizar la generación de residuos peligrosos en industrias con procesos obsoletos y contaminantes. Disponer los residuos con el mínimo impacto ambiental y a la salud humana, tratándolos previamente, así como a sus afluentes, antes de que sean liberados al ambiente. De igual manera reglamenta la responsabilidad del generador y del receptor frente al residuo peligroso.

2.11 RESOLUCIÓN 415 DE 1998

Por la cual se establecen los casos en los cuales se permite la combustión de los aceites de desecho y las condiciones técnicas para realizar la misma¹.

Firmada a los 13 días del mes de mayo de 1998, 7 Artículos que disponen la utilización del aceite usado (aceite inadecuado para el uso asignado inicialmente) como combustible único o mezcla para la quema en hornos o calderas, esta actividad requiere de permiso previo de emisión atmosférica o la modificación parcial del permiso vigente con el que cuentan¹.

2.12 DECRETO 321 DE 1999

Por el cual se adopta el Plan Nacional de Contingencia (PNC) contra derrames de Hidrocarburos, Derivados y Sustancias Nocivas².

¹ RESOLUCIÓN 415 DE 1998

² DECRETO 321 DE 1999

Vigente a partir del 17 de febrero de 1999, 11 Artículos que definen los objetivos específicos del PNC, y se estructura en tres capítulos básicos:

- Plan estratégico.
- Plan operativo.
- Plan informático.

Según el Artículo 2, el objetivo general de la implementación del PNC es servir de instrumento rector del diseño y realización de actividades dirigidas a prevenir, mitigar y corregir los efectos nocivos que puedan ser causados por el derrame de hidrocarburos, derivados y sustancias nocivas en el territorio nacional, buscando que estas emergencias se atiendan bajo criterios unificados y coordinados.

2.13 DECRETO 1713 DE 2002

Por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994, la Ley 632 de 2000 y la Ley 689 de 2001, en relación con la prestación del servicio público de aseo, y el Decreto-Ley 2811 de 1974 y la Ley 99 de 1993 en relación con la Gestión Integral de Residuos Sólidos¹.

Dado el 6 de agosto de 2002, conformado por 132 Artículos, en los cuales se dictan definiciones referentes a la Gestión Integral de Residuos y otras disposiciones¹.

¹ DECRETO 1713 DE 2002

2.14 DECRETO 4741 DE 2005

Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la Gestión Integral¹.

Firmado y aprobado a los 30 días del mes de diciembre de 2005, consta de 40 Artículos que tienen como objeto la prevención en la generación de residuos peligrosos y la regulación en el manejo de los mismos para proteger la salud humana y el medio ambiente¹.

El decreto se divide en nueve capítulos de la siguiente forma¹:

- Capítulo I: Objeto, alcance y definiciones.
- Capítulo II: Clasificación, caracterización, identificación y presentación de los residuos o desechos peligrosos.
- Capítulo III: De las obligaciones y responsabilidades.
- Capítulo IV: De la gestión y manejo de los empaques, envases, embalajes y residuos de productos o sustancias químicas con propiedad o característica peligrosa.
- Capítulo V: De las autoridades.
- Capítulo VI: Del registro de generadores de residuos o desechos peligrosos.
- Capítulo VII: De la importación, exportación y tránsito de residuos o desechos peligrosos.
- Capítulo VIII: Prohibiciones.
- Capítulo IX: Disposiciones finales.

¹ DECRETO 4741 DE 2005

En el Decreto sólo se hace referencia a **residuos peligrosos**, propiedad determinada por sus características. Además de imponer al generador la responsabilidad integral sobre todas las actividades de gestión de los residuos peligrosos, traslada tal responsabilidad al receptor en el momento de recibir los residuos de manos del transportista y haya efectuado o comprobado el aprovechamiento o disposición final de los mismos.

El Artículo 38 se refiere en forma general a las funciones de vigilancia y control de las normas sobre residuos peligrosos a todas las autoridades ambientales en el ámbito de su competencia, sin perjuicio de las funciones de prevención, inspección, control y vigilancia que compete a las autoridades sanitarias.

El decreto 4741 es un paso importante en la implementación práctica de la responsabilidad ambiental. Es una invitación a los “generadores” hacia la búsqueda de alternativas innovadoras que permitan el tratamiento y disposición final de este tipo de residuos, manteniendo el pensamiento de Desarrollo Sostenible y Producción más Limpia encaminados en el desarrollo de mejores prácticas ambientales.

2.15 RESOLUCIÓN 1402 DE 2006

Por la cual se desarrolla parcialmente el Decreto 4741 del 30 de diciembre de 2005, en materia de residuos o desechos peligrosos¹.

Dada a los 17 días del mes de julio de 2006, con un contenido de 5 Artículos referentes al manejo ambiental de residuos peligrosos. Se resalta el Artículo 4 a continuación¹.

¹ RESOLUCIÓN 1402 DE 2006

Artículo 4

De conformidad con la Ley 430 del 16 de enero de 1998, es obligación y responsabilidad de los generadores identificar las características de la peligrosidad de cada uno de los residuos o desechos peligrosos que genere, para lo cual podrá tomar como referencia cualquiera de las alternativas establecidas en el Artículo 7 del Decreto 4741 del 30 de diciembre de 2005. La autoridad ambiental podrá exigir la caracterización fisicoquímica de los residuos o desechos, cuando lo estime conveniente o necesario.

2.16 LEY 1252 DE 2008

Por la cual se dictan normas prohibitivas en materia ambiental, referentes a los residuos y desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones¹.

Vigente a partir del 27 de noviembre de 2008, cuenta con 18 Artículos en los cuales el objetivo principal es regular y velar por la protección de la salud humana y el ambiente. Teniendo en cuenta lo establecido en el Convenio de Basilea y sus anexos, se asumirá la responsabilidad de minimizar la generación de residuos peligrosos en la fuente, optando por políticas de producción más limpia; proveyendo la disposición adecuada de los residuos peligrosos generados dentro del territorio nacional, así como la eliminación responsable de las existencias de estos dentro del país. Así mismo, se regula la infraestructura de la que deben ser dotadas las autoridades aduaneras y zonas francas y portuarias, con el fin de detectar de manera eficaz la introducción de estos residuos y se amplían las sanciones que trae la Ley 99 de 1993¹.

¹ LEY 1252 DE 2008

2.17 LEY 1333 DE 2009

Por la cual se establece el procedimiento sancionatorio ambiental y se dictan otras disposiciones¹.

Dada a los 21 días del mes de julio de 2009, consta de 66 Artículos que establecen el procedimiento sancionatorio ambiental para Colombia. Se establece que las entidades competentes para sancionar mediante infracciones ambientales son el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, la Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales, las Corporaciones Autónomas Regionales, las Corporaciones de Desarrollo Sostenible y las Autoridades Ambientales Urbanas. Las sanciones pueden ser multas, suspensión de la obra, decomiso de elementos utilizados por causar la presunta infracción, caducidad o terminación de la licencia o permiso, entre otras¹. El Artículo 7 define los causales de agravación de la responsabilidad en materia ambiental así¹:

Artículo 7 Causales de agravación de la responsabilidad en materia ambiental

Son circunstancias agravantes en materia ambiental las siguientes:

1. Reincidencia. En todos los casos la autoridad deberá consultar el RUIA y cualquier otro medio que provea información sobre el comportamiento pasado del infractor.
2. Que la infracción genere daño grave al medio ambiente, a los recursos naturales, al paisaje o a la salud humana.
3. Cometer la infracción para ocultar otra.

¹ LEY 1333 DE 2009

4. Rehuir la responsabilidad o atribuirla a otros.
5. Infringir varias disposiciones legales con la misma conducta.
6. Atentar contra recursos naturales ubicados en áreas protegidas o declarados en alguna categoría de amenaza o en peligro de extinción o sobre los cuales existe veda, restricción o prohibición.
7. Realizar la acción u omisión en áreas de especial importancia ecológica.
8. Obtener provecho económico para sí o un tercero.
9. Obstaculizar la acción de las autoridades ambientales.
10. El incumplimiento total o parcial de las medidas preventivas.
11. Que la infracción sea grave en relación con el valor de la especie afectada, el cual se determina por sus funciones en el ecosistema, por sus características particulares y por el grado de amenaza a que esté sometida.
12. **Las infracciones que involucren residuos peligrosos.**

2.18 DECRETO 2820 DE 2010

Por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales¹.

Publicado el 5 de agosto de 2010, contiene 52 Artículos que determinan los proyectos que requieren licenciamiento ambiental y las autoridades competentes para otorgarlo. Establece que se debe informar a las comunidades el alcance del proyecto, con énfasis en los impactos y las medidas de manejo propuestas, e incorporar el Estudio de Impacto Ambiental. En los Artículos 8 y 9 se exponen las actividades que requieren licenciamiento. Se destaca a continuación el Artículo 8 con respecto a las actividades del Sector de Hidrocarburos¹.

¹ DECRETO 2820 DE 2010

Artículo 8 Competencia del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial

El ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, otorgará o negará de manera privativa la Licencia Ambiental para los siguientes proyectos, obras o actividades:

1. En el Sector de Hidrocarburos
 - a) Las actividades de exploración sísmica que requieran la construcción de vías para el tránsito vehicular y las actividades de exploración sísmica en las áreas marinas del territorio nacional cuando se realicen en profundidades inferiores a 200 metros.
 - b) Los proyectos de perforación exploratoria por fuera de los campos de producción de hidrocarburos existentes, de acuerdo con el interés que declare el peticionario.
 - c) La exploración de hidrocarburos que incluye, la perforación de los pozos de cualquier tipo, la construcción de instalaciones propias de la actividad, las obras complementarias incluidas el transporte interno de fluidos del campo por ductos, el almacenamiento interno, vías internas y demás infraestructura asociada y conexas.
 - d) El transporte y conducción de hidrocarburos líquidos y gaseosos que se desarrolle por fuera de los campos de explotación y que impliquen la construcción y montaje de infraestructura de líneas de conducción con diámetros iguales o superiores a 6 pulgadas (15,24 cm), incluyendo estaciones de bombeo y/o reducción de presión y la correspondiente infraestructura de almacenamiento y control de flujo; salvo aquellas actividades relacionadas con la distribución de gas natural de uso domiciliario, comercial o industrial.

- e) Los terminales de entrega y estaciones de transferencia de hidrocarburos líquido entendidos como la infraestructura de almacenamiento asociada al transporte de hidrocarburos y sus productos derivados por ductos.
- f) La construcción y operación de refinerías y los desarrollos de petroquímicos que formen parte de un complejo de refinación.

2.19 DECRETO 3930 DE 2010

Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI-Parte III, Libro II del Decreto-Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones¹.

Vigente a partir del 25 de octubre de 2010, dispone de 79 Artículos que modifican el Decreto-Ley 2811 de 1974, reglamentan los usos del agua y residuos líquidos. Define como criterios de calidad al conjunto de parámetros y sus correspondientes valores, utilizados para la asignación de usos al recurso y como base de decisión para el Ordenamiento del Recurso Hídrico. Estos criterios serán definidos por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial para el uso de las aguas superficiales, subterráneas y marinas¹.

2.20 DECRETO 4728 DE 2010

Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 3930 de 2010. Publicado el 23 de diciembre de 2010, consta de 9 Artículos que modifican los Artículos 28, 34, 35, 52, 54, 61, 77 y 78, y deroga el numeral 21 del Artículo 42 del Decreto 3930 de 2010².

¹ DECRETO 3930 DE 2010

² DECRETO 4728 DE 2010

3. GENERACIÓN DE BORRAS EN OPERACIONES DE PRODUCCIÓN

3.1 BORRAS ACEITOSAS

Las borras (Imagen 1 y 2) son una mezcla viscosa compuesta por agua, sólidos inorgánicos, materia orgánica e hidrocarburos, los cuales forman una emulsión altamente estable, que no es fácil de romper mediante métodos convencionales. La alta estabilidad de la emulsión se debe principalmente a que los sólidos presentes, son en su mayoría ultra-finos. Adicionalmente este tipo de desechos contienen una gran cantidad de sustancias químicas, las cuales actúan también como fuertes agentes emulsificantes¹.

Imagen 1. Borras generadas en un campo de producción



Fuente: El Autor

¹ SUÁREZ L. 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. Ingeniería Ambiental. Universidad Nacional de Colombia, 2011.

Debido a las operaciones de producción que se desarrollan en los campos petroleros, se generan grandes volúmenes de borras, que se almacenan en fosas de acumulación de residuos aceitosos. Estos desechos se consideran como residuos peligrosos y deben ser tratados con el objeto de aprovechar al máximo el residuo y permitir la disposición final adecuada de acuerdo al manejo ambiental dispuesto por la legislación colombiana¹.

Imagen 2. Borras generadas en un campo de producción



Fuente: El Autor

¹ RAILROAD COMMISSION OF TEXAS. Waste Minimization in the Oil Field. Oil and Gas Division. U.S. Texas. 2001.

En las Imágenes 1 y 2, se pueden observar las borras generadas durante las operaciones de producción que se acumulan en tanques de almacenamiento.

3.2 DAÑOS AMBIENTALES POR MANEJO INADECUADO DE BORRAS ACEITOSAS

El manejo inadecuado e incumplimiento de la reglamentación ambiental de este tipo de residuos peligrosos, puede tener como consecuencia los siguientes efectos en el medio ambiente ^{1 2}:

- Daños en sistemas de cultivos agrícolas, vegetación, arroyos, ecosistemas acuáticos y otros recursos del agua.
- Degradación de suelos y aguas subterráneas por escorrentía y lixiviados.
- Sales perjudiciales para las aguas subterráneas, tierra agrícola y agua para uso doméstico.

3.3 CAMPOS DE PRODUCCIÓN

Un campo de producción está compuesto por el conjunto de equipos, mediante los cuales se llevan a cabo las operaciones de separación de las fases del fluido del pozo productor, y además se implementa el tratamiento de cada una de las fases para así llevar a cabo la comercialización y disposición de los productos y residuos sin modificar ni producir alteraciones en el medio ambiente ³.

¹ U.S. CONGRESS, OFFICE OF TECHNOLOGY ASSESSMENT. Managing industrial solid wastes from manufacturing, Mining, Oil and Gas Production, and utility coal combustion-background. U.S. Washington D.C. 1992.

² COLLINS G. Geochemistry of oilfield waters. Elsevier Scientific Publishing Co. Amsterdam. 1975.

³ ARNOLD K., STEWART M. Emulsions and Oil Treating Equipment. Gulf Publishing Company, Elsevier Inc, 2009.

También se denomina como facilidad de producción, batería de producción, estación de producción, módulo de producción, etc.

A continuación se describen las principales operaciones de producción de un campo petrolero, y se identifican los puntos en los cuales se generan las borras.

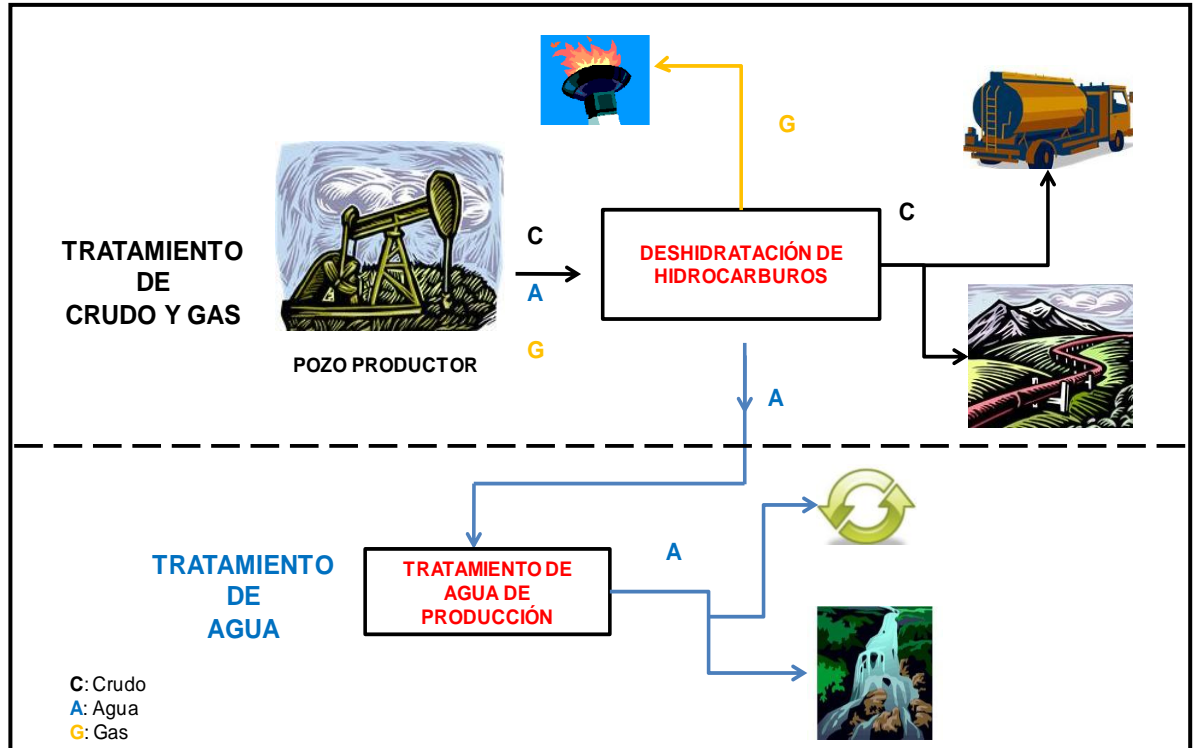
3.4 OPERACIONES DE PRODUCCIÓN

Las operaciones de producción de un campo petrolero constan principalmente de la separación y tratamiento de los componentes del fluido de producción (petróleo, agua y gas). Debido a las condiciones de la mezcla, el fluido atraviesa diferentes etapas en donde se aplican diversos tratamientos físicos, químicos, térmicos, eléctricos entre otros, con el objetivo de entregar el crudo en especificaciones de venta, y el agua en condiciones de vertimiento o inyección.

En la Figura 2, se presenta el esquema general de las operaciones de producción que se desarrollan en un campo petrolero y se identifican las corrientes principales del proceso, las cuales son, crudo, agua y gas.

Se destacan dos operaciones las cuáles son las más importantes: **Deshidratación de hidrocarburos y Tratamiento del agua de producción**

Figura 2. Esquema general de las operaciones de producción



Fuente: El Autor

3.4.1 Deshidratación de hidrocarburos

El alto contenido de agua en el crudo representa un problema en los procesos de extracción, distribución y refinación, asociado al hecho de que las especificaciones de calidad acordadas en los contratos de comercialización, usualmente exigen un porcentaje máximo de contenido de agua y sedimentos (BS&W) del 0,5%^{1 2 3}.

¹ ARNOLD K., STEWART M. Emulsions and Oil Treating Equipment. Gulf Publishing Company, Elsevier Inc, 2009.

² CHILINGAR G., BEESON C. Surface Operations in Petroleum Production. New York: American Elsevier Publishing Company, 1969.

³ COMPAÑÍA MEXICANA DE EXPLORACIONES S.A. Métodos para la deshidratación de hidrocarburos. Sinergia. Revista de Comunicación Interna de COMESA. Edición 17. México. 2008.

Para dar cumplimiento a las especificaciones nombradas en el párrafo anterior, es necesario llevar a cabo el proceso de deshidratación, mediante el cual se separa el agua asociada con el crudo. El agua que se produce en los pozos está compuesta por agua emulsionada y agua libre, y esta última se separa por efecto de la gravedad tan pronto como la velocidad de los fluidos es lo suficientemente baja.

Mientras que la otra parte del agua, que está combinada con el crudo en forma de una emulsión de gotas de agua dispersas en el aceite, necesita de un tratamiento adecuado que permita la separación total. Esta emulsión se forma debido al contenido de surfactantes naturales en el crudo, el aceite y el agua son emulsionados a medida que pasan a través de distintos dispositivos mecánicos como bombas, válvulas y otros.

Existen diferentes tratamientos en la industria para la deshidratación, entre los cuales se encuentran:

- **Tratamiento Químico:** consiste en aplicar un producto desemulsificante conocido como “rompedor”, el cual debe ser inyectado tan pronto como sea posible, permitiendo más tiempo de contacto y previniendo la formación de emulsión líneas abajo del proceso.
- **Tratamiento Térmico:** proceso mediante el cual el crudo es calentado en equipos de intercambio de calor, tales como calentadores de crudo y hornos, para reducir la viscosidad del aceite, lo cual favorece el choque de las gotas de agua. Se forman así otras gotas de mayor tamaño (coalescencia), las cuales se precipitan por efecto de gravedad.
- **Tratamiento Mecánico:** se caracteriza por utilizar equipos de separación dinámica (Separadores, Gun Barrel y FWKO “Free Water Knock Out”), que

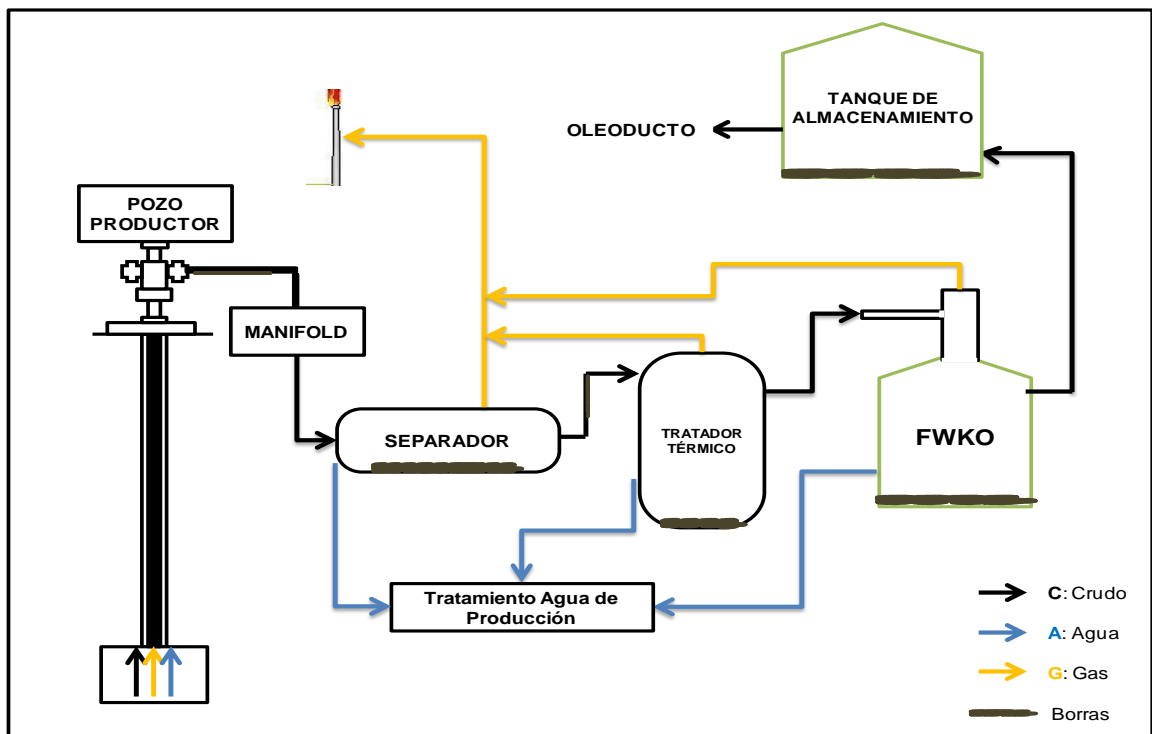
permiten la dispersión de las fases de la emulsión y aceleran el proceso de separación gravitacional.

- **Tratamiento Eléctrico:** utiliza deshidratadores electrostáticos que orientan las cargas eléctricas dentro de las gotas de agua emulsionada, causando su coalescencia.

Por lo general se utiliza una combinación de los diferentes tipos de tratamientos, los cuales permiten la mayor eficiencia del proceso.

En la Fig. 3 se presenta un diagrama común de la operación de deshidratación de hidrocarburos.

Figura 3. Diagrama típico de deshidratación de hidrocarburos



Fuente: **El Autor**

De acuerdo con el diagrama (Fig. 3), se puede decir que los puntos en los cuales muy probablemente se generen borras son: en las líneas de flujo y en los fondos de los tanques de tratamiento y almacenamiento.

Las borras (Imagen 3) acumuladas en las líneas de flujo, en los fondos de los tanques o vasijas que se utilizan para el proceso de deshidratación y almacenamiento, son definidas por la API como sedimentos con agua y otros materiales. Estas borras pueden contener hidrocarburos, metales pesados, arenas, emulsiones, entre otros, los cuales pueden afectar la salud humana y el medio ambiente.

Imagen 3. Borras acumuladas después de la limpieza de tanques en un campo de producción



Fuente: **El Autor**

En la Imagen 3 se presentan las borras acumuladas después de la limpieza de tanques y líneas de flujo, como se observa, estos residuos son acumulados en otras zonas del campo, a los cuales se les debe realizar posteriormente el tratamiento y disposición final.

La acumulación de borras causa una reducción de la capacidad instalada de los tanques de almacenamiento, así como también, un aumento de las pérdidas por fricción en tuberías, entre otros.

3.4.2 Tratamiento de agua de producción

La producción de hidrocarburos está asociada con la producción de agua. Durante la fase temprana de vida de los pozos, la producción de agua libre con el crudo y el gas es algo que se experimenta normalmente ^{1 2}.

Sin embargo, a medida que el pozo madura, el corte de agua (proporción de agua en el fluido) aumenta de manera constante ^{1 2}.

El tratamiento de grandes cantidades de agua de producción es una actividad rutinaria en las operaciones del campo petrolero ^{1 2}. Las aguas asociadas a la producción de petróleo crudo (Imagen 4), presentan diferentes tipos de emulsiones y dispersiones de componentes tanto orgánicos como inorgánicos, dependiendo de las características composicionales de las formaciones productoras, de la composición del hidrocarburo, de la fisicoquímica del agua y de los tipos de levantamiento utilizados.

¹ BASHAT H. Managing waste in exploration and production activities of the petroleum industry. Environmental Advisor. On line: <http://www.eeaa.gov.eg/english/main/Env2003/Day1/Oil/bashat.aeec.pdf>

² GANG L., SHUNAI G., FENGMEI L. Treatment of oilfield produced water by anaerobic process coupled with micro-electrolysis. 2010, Journal of Environmental Sciences, Vol 22, pp. 1875- 1882.

Imagen 4. Piscina de recibo de agua de producción



Fuente: **El Autor**

La Imagen 4 corresponde a una piscina de recibo de agua de producción, se observa que la calidad del agua es mala y presenta arrastre de grandes cantidades de aceite.

Para la gran mayoría de las compañías petroleras, el agua de producción asociada a la extracción de petróleo genera problemas operacionales, económicos y ambientales, debido a la dificultad de: manejo de grandes volúmenes, deficiencias en el rompimiento de la emulsión inversa, sólidos humectados por petróleo, el cumplimiento de los requerimientos legales necesarios para su disposición final, y generación de grandes cantidades de residuos aceitosos, que a su vez requieren un manejo posterior ^{1 2}.

¹ AKER SOLUTIONS. Processing solutions. On line: <http://www.akersolutions.com>

² REIS J. Environmental Control in Petroleum Engineering. Gulf Publishing Company. Houston, Texas. 1996.

El tratamiento del agua se da de forma paralela y continua con el tratamiento de crudo, a medida que el crudo pasa por las etapas de deshidratación, el agua separada continúa en el sistema por diferentes líneas y se somete a un riguroso tratamiento de purificación y descontaminación debido a las altas concentraciones de aceites y grasas, sólidos suspendidos o disueltos, entre otros. El resultado de este tratamiento permite que el agua pueda ser descargada al medio ambiente o inyectada nuevamente al yacimiento.

Algunos sistemas de tratamiento incluyen los siguientes equipos ^{1 2 3 4}:

- **Tanques de desnatado:** el principio de operación de este equipo se basa en la separación gravitacional y la coalescencia, están diseñados para proporcionar un tiempo de residencia alto y así permitir la remoción máxima de hidrocarburos.
- **Separador API:** consiste en una unidad rectangular expuesta a la atmósfera, en la cual se remueven por diferencias de gravedades específicas el agua y el aceite. Debido al tiempo de residencia, las gotas de aceite coalescen y flotan en la superficie, formando una capa o nata que se recolecta en una canaleta tubular y luego es depositado en un tanque recolector.

¹ SHPINER R., VATHI S., STUCKEY D.C., Treatment of oil well “produced water” by waste stabilization ponds: Removal of heavy metals. 2009, Water Research, Vol. 43, pp. 4258-4268.

² STEWART M., ARNOLD K. Emulsions and oil treating equipment. Gulf Publishing Company, Elsevier Inc, 2009.

³ ARNOLD K., STEWART M. Emulsions and Oil Treating Equipment. Gulf Publishing Company, Elsevier Inc, 2009.

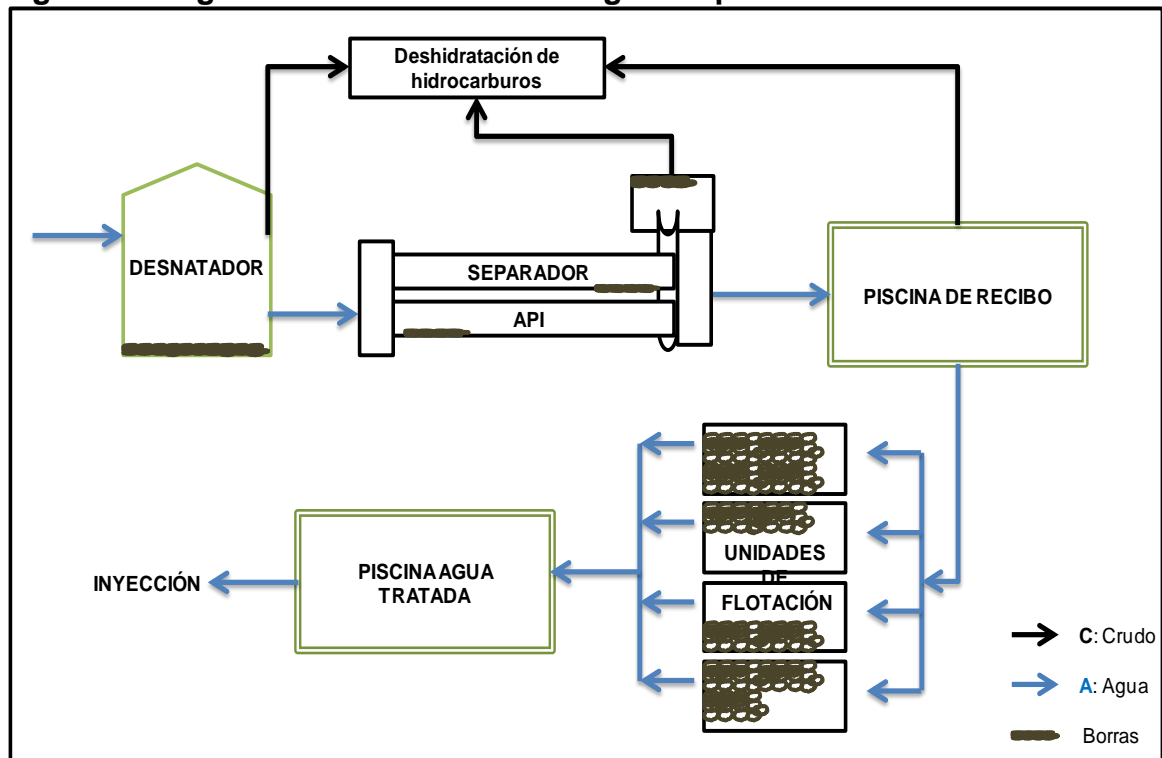
⁴ PINZÓN, Gustavo Andrés y MORENO, Marlon Rolando. Definición de estándares operativos para el tratamiento de aguas residuales. Ingeniería de Petróleos. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos, 2007.105 p.

- **Hidrociclones:** estos equipos operan mediante el uso de fuerza centrífuga para remover las gotas de aceite presentes en el agua. El flujo entra al compartimiento creando un remolino de alta velocidad, en el cual las gotas de aceite coalescen y fluyen en contracorriente. Son excelentes equipos coalescedores y funcionan como un elemento de tratamiento primario seguido por un desnatador o skimmer.
- **Unidades de flotación:** el principio de separación se fundamenta en el arrastre por gas de las partículas de aceite. En las unidades pequeñas burbujas de gas son generadas y dispersadas en el agua, donde hacen contacto con las gotas del aceite y partículas sólidas.
- **Unidades de filtración:** este tipo de unidades por lo general se emplean en la etapa final del tratamiento del agua, justo antes del inicio del proceso de inyección. El objetivo principal es disminuir la concentración de aceites y sólidos al hacer pasar el fluido a través de filtros. Se destacan los lechos filtrantes: arena, grava, antracita, carbón activado y cáscara de nuez.

Dependiendo de la concentración y composición de: sólidos disueltos, precipitados, arenas, gases disueltos, emulsiones inversas y aceite, y de la configuración del tratamiento, será el uso de productos químicos que facilitan el proceso de separación tales como: rompedores inversos, clarificadores, coagulantes, floculantes, inhibidores, etc. Los cuales deberán ser aplicados únicamente durante el tratamiento del agua, ya que si se aplica junto con los productos de deshidratación, el aceite puede coagularse y formar aglomeraciones de sólidos en las vasijas de deshidratación y este no es el objetivo del tratamiento de hidrocarburos.

En la Fig. 4 se presenta un diagrama típico del tratamiento del agua de producción.

Figura 4. Diagrama del tratamiento de agua de producción



Fuente: **El Autor**

El propósito del tratamiento es remover la mayor concentración de aceites y sólidos, hasta que la cantidad remanente sea la apropiada para realizar la disposición o la inyección de la misma.

En la Imagen 5 se observa el agua a la salida de las unidades de tratamiento (Unidades de flotación), esta agua continúa hacia las piscinas de enfriamiento para luego ser bombeada a los pozos inyectores de agua.

Imagen 5. Agua de producción finalizado el tratamiento



Fuente: **El Autor**

Una vez finaliza el tratamiento, el agua se dispone para inyección y adicionalmente se generan grandes cantidades de borras, como se puede observar en la Imagen 6, las cuales son subproductos del proceso de coagulación y floculación.

En la Imagen 7 se observa que en las unidades de tratamiento se acumulan flocs, los cuales están compuestos por sólidos, materia orgánica, aceite, químicos utilizados en el proceso, entre otros.

Imagen 6. Borrás acumuladas en las unidades de flotación



Fuente: **El Autor**

Esta operación del campo es la que genera el mayor volumen de borras en todo el proceso de producción, las cuales se acumulan en piscinas o tanques de almacenamiento junto a las borras generadas en la deshidratación del crudo; y requieren de un tratamiento específico para realizar la respectiva disposición final.

Imagen 7. Borreras generadas durante el tratamiento del agua de producción



Fuente: El Autor

4. ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE BORRAS

El manejo y disposición responsable de los residuos es la clave de cualquier sistema de Gestión Ambiental. Existe una creciente preocupación por el manejo adecuado de residuos peligrosos con el fin de minimizar su potencial de causar daño a la salud humana y al medio ambiente. Adicionalmente, la gestión eficiente de los residuos puede reducir los costos operacionales de las Compañías que desarrollan las actividades de Exploración y Producción de hidrocarburos¹.

4.1 MANEJO INTEGRAL DE BORRAS

La acción más eficiente para minimizar el impacto ambiental de las borras de producción es el desarrollo e implementación de un plan de manejo integral. Los planes de manejo integral identifican los residuos de una actividad en particular, y proponen las distintas alternativas para el manejo, tratamiento y disposición adecuada de los residuos.

El manejo efectivo de las borras consiste en el planteamiento de la jerarquía de acciones a realizar, tal como se describió en la sección **1.5 “Jerarquía en la Gestión de Residuos Peligrosos”** del Capítulo **“Residuos Peligrosos”**.

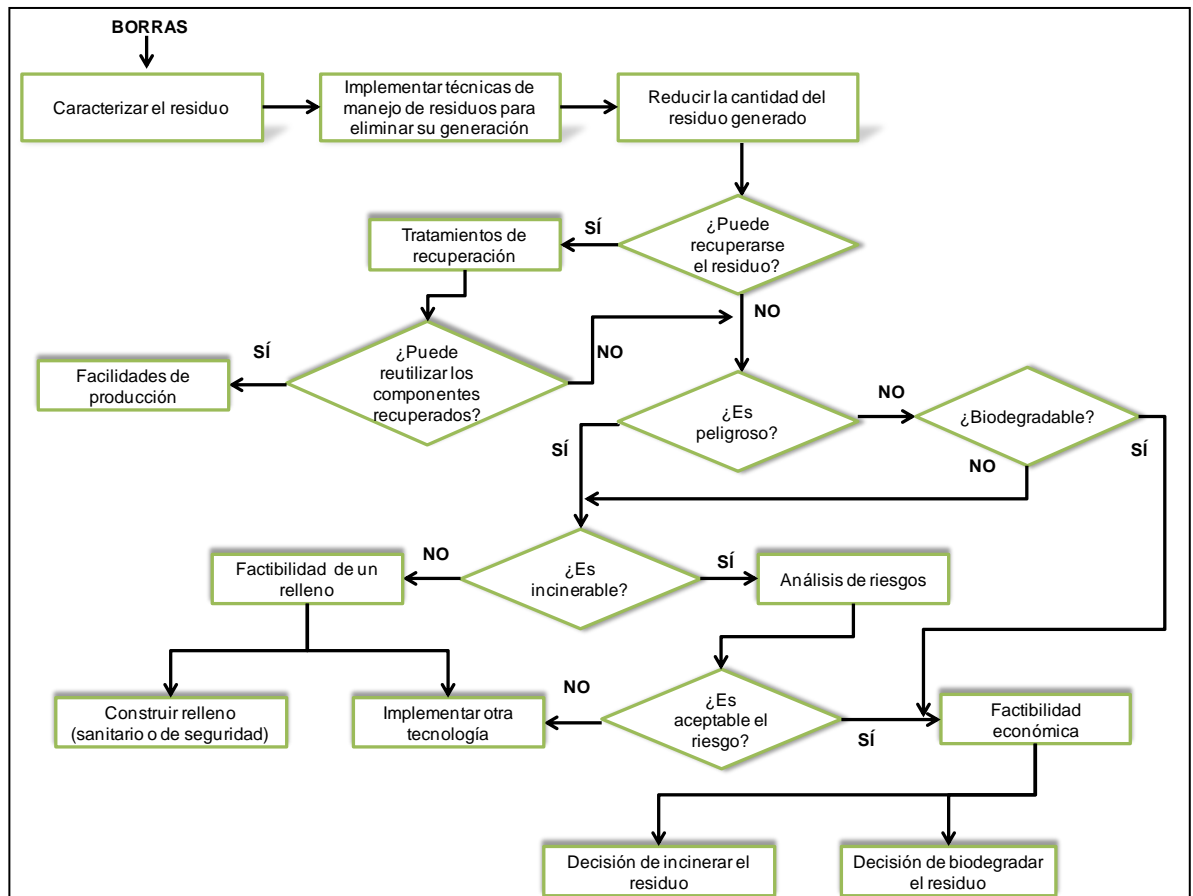
En la Figura 5, se presenta el esquema para la toma de decisiones referente al manejo integral de las borras o cualquier residuo petrolero generado en un campo de producción de hidrocarburos².

¹ BASHAT H. Managing waste in exploration and production activities of the petroleum industry. Environmental Advisor. On line: <http://www.eeaa.gov.eg/english/main/Env2003/Day1/Oil/bashat.aeec.pdf>

² THE SASKATCHEWAN PETROLEUM INDUSTRY. Waste management guidelines. 1996.

Las acciones de minimización y reducción del residuo pueden implementarse mediante la optimización de los procesos aplicados en campo. Sin embargo, después de llevar a cabo estas acciones, acordes con el Manejo Integral de Residuos, es inevitable la generación de algunos desechos que requieren de un tratamiento y eliminación definitiva.

Figura 5. Esquema para la toma de decisiones con respecto al manejo integral de borras



Fuente: **MMA. Guía ambiental para proyectos de perforación de pozos de petróleo y gas¹.**

¹ MMA. Guía ambiental para proyectos de perforación de pozos de petróleo y gas. Colombia. Bogotá D. C. 1999.

4.2 PROCEDIMIENTO PARA LA SELECCIÓN DE TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE BORRAS

Deben tenerse en cuenta los siguientes ítems para seleccionar el tratamiento apropiado que permite la mayor recuperación de crudo, y la disposición final adecuada para la salud humana y el medio ambiente¹.

- a) **Caracterización de la muestra:** la caracterización fisicoquímica del residuo, permite obtener datos para estimar los parámetros de tratamiento específicos, antes de evaluar las tecnologías disponibles.
- b) **Estudio de la emulsión:** define la dinámica de la emulsión y su mecanismo de ruptura. Realizar este paso es esencial, ya que por lo general el rompimiento de la emulsión es una de las etapas de mayor dificultad de todo el tratamiento.
- c) **Tratamiento:** es el empleo de operaciones como la separación física, centrifugación, filtración, etc. Estos métodos permiten la recuperación del hidrocarburo y su posible recirculación al proceso de producción o reutilización en alguna unidad del campo.
- d) **Disposición del desecho:** una vez realizado el tratamiento de la borra, se generan otros desechos (de menor volumen y peligrosidad) de fácil manejo, que requieren de la disposición final.

¹ ESPINOZA J. Tratamiento y disposición final de residuos industriales generados en una refinería. 2003, Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Geología, Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas, Vol. 6, pp. 20-31.

4.3 MÉTODOS DE TRATAMIENTO DE BORRAS

Las borras se encuentran por lo general almacenadas en piscinas para disposición de desechos aceitosos, provenientes del tratamiento del agua de producción, sedimentos de tanques de la batería de producción y líneas de flujo^{1 2 3}.

Según su composición y/o caracterización fisicoquímica, las borras inicialmente deben someterse a un tratamiento que permita^{1 2 3}:

- Reducir el volumen del residuo.
- Remover la mayor cantidad de agua.
- Reducir el potencial de peligro del residuo.
- Recuperar la mayor cantidad de aceite.
- Modificar el estado del residuo, de modo tal que permita ser utilizado en las alternativas para disposición final.

4.3.1 Lechos de secado

El lecho de secado al aire corresponde a un proceso natural en donde el agua contenida entre las partículas del residuo es removida por evaporación y filtración a través de medio de drenaje de fondo. En este sistema no es necesario adicionar reactivos ni procesos con elementos mecánicos ya que se realiza un secado lento⁴.

¹ CAMBIELLA A., BENITO J.M., PAZOS J. Centrifugal separation efficiency in the treatment of waste emulsified oils. 2006, Chemical Engineering Research and Design, Vol. 84, pp. 69-76.

² MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA, REPÚBLICA DEL PERÚ. Guía ambiental para la disposición de desechos de perforación. Perú.

³ THE SASKATCHEWAN PETROLEUM INDUSTRY. Waste management guidelines. 1996.

⁴ UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN. Curso de manejo seguro de residuos tóxicos o peligrosos. Sistema de gestión para el manejo de sustancias químicas y residuos tóxicos. Chile.

Consisten en depósitos de arena-grava de poca altura, divididos en compartimientos, con un fondo inclinado provisto de un tubo de drenaje, en el que se colocan los residuos para que debido a la acción del sol y el aire, se elimine gran parte del agua que contienen (Imagen 8).

En una primera fase (filtración), el agua abandona el residuo por filtración a través de la arena, favoreciendo el desprendimiento de gases disueltos que permiten la flotación de los sólidos.

La segunda fase es de evaporación más lenta, y produce una disminución de la capa del residuo, agrietando la superficie y favoreciendo la evaporación de las capas inferiores al ser las grietas cada vez más profundas. Al final de esta fase el desecho presentará una consistencia tal que permitirá ser paleable.

La extracción del desecho es manual, de modo tal que pueda ser transportado y destinado a la zona de disposición final. Con la remoción del desecho se retirará material filtrante, así que debe reponerse cada cierto período de tiempo.

Las principales ventajas de los lechos de secado son el bajo costo, poco mantenimiento, y mayor concentración de sólidos en el desecho final. Sin embargo, es necesaria una elevada superficie disponible para tratar los volúmenes de residuos. Adicionalmente, se instala un sistema de protección de aguas lluvia y así no interferir en la operación de secado.

El objetivo del tratamiento es la deshidratación para reducir el volumen del residuo para el posterior manejo en la disposición final.

Imagen 8. Lechos de secado de un campo de producción de hidrocarburos



Fuente: **El Autor**

La Imagen 8, corresponde a la aplicación de la técnica de Lechos de secado en un campo de producción de hidrocarburos.

4.3.2 Desorción térmica

La desorción térmica, también llamada secado, es un proceso para remover materia orgánica y agua de los sólidos. Estos procesos operan a menor temperatura que los incineradores y en ausencia de oxígeno, puesto que no se pretende que exista combustión de los desechos¹.

¹ KHAN F., HUSAIN T., HEJAZI R. An overview and analysis of site remediation technologies. 2004, Journal of Environmental Management, Vol. 71, pp. 95-122.

Las mezclas de materia orgánica, agua y sólidos se calientan mediante el vapor de un serpentín para separar los volátiles. El agua en el desecho se convierte en vapor y ayuda a despojar compuestos semivolátiles de punto de ebullición alto.

La desorción térmica emplea un equipo denominado desorbedor para limpiar residuos o suelos contaminados. Cuando el residuo se calienta lo suficiente, las sustancias químicas se evaporan, y se separa de la matriz sólida un porcentaje del contenido de hidrocarburos del residuo.

La Agencia Para la Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA por sus siglas en inglés) define técnicamente la desorción térmica así: es una técnica para tratar la tierra contaminada con desechos peligrosos calentándola a una temperatura de 90-540°C a fin de que los contaminantes con un punto de ebullición bajo se vaporicen y por consiguiente, se separen de la tierra.

La desorción térmica es diferente de la incineración, usa el calor de manera indirecta para separar físicamente los contaminantes del residuo, que después se someten a un tratamiento. Mientras que la incineración usa el calor en forma directa para destruir los contaminantes. Los métodos de desorción térmica permiten la recuperación del hidrocarburo atrapado, minimiza el residuo y prepara el desecho para su disposición final.

4.3.3 Extracción con solvente

La extracción con solvente es una técnica de tratamiento empleada para remover crudo y material orgánico atrapados en borras. El proceso consiste en utilizar un solvente volátil para separar o retirar los orgánicos del residuo. Entre los solventes utilizados se incluyen el propano, trietanolamina y CO₂ líquido crítico. El solvente

extrae el desecho orgánico, pero no remueve los metales pesados contenidos, los cuales deben tratarse utilizando otra tecnología ^{1 2}.

Los residuos y el solvente se mezclan en un extractor y de esta manera el contaminante orgánico se disuelve en el solvente. Luego del proceso de extracción se obtienen tres fracciones:

- La mezcla contaminada del solvente: es extraída de tanque mezclador y transferida a un tanque de separación.
- Desechos sólidos: dependiendo del grado de contaminación, será necesario repetir el procedimiento o realizar otro tratamiento.
- Agua: debe ser analizada para determinar si se necesita tratar en las unidades de tratamiento de agua de producción ó se puede inyectar.
- Hay varios factores que afectan la velocidad de disolución de los contaminantes, entre los cuales se encuentran, la temperatura, el contenido de humedad y el grado de contaminación.

La extracción con solventes es una técnica que no destruye los contaminantes sino los concentra para que puedan ser reciclados al proceso, o destruidos con tratamientos posteriores. Se usa en combinación con otras técnicas para reducir y/o eliminar los compuestos contaminantes.

El proceso consta de cinco pasos, que se describen a continuación:

¹ REIS J. Environmental Control in Petroleum Engineering. Gulf Publishing Company. Houston, Texas. 1996.

² ESPINOZA J. Tratamiento y disposición final de residuos industriales generados en una refinería. 2003, Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Geología, Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas, Vol. 6, pp. 20-31.

- Preparación del residuo a tratar.
- Extracción.
- Separación de los contaminantes concentrados del solvente.
- Eliminación del solvente restante.
- Recuperación de contaminantes para reutilización en la operación del campo o disposición final.

Algunas ventajas de este método son: separación del contaminante a fin de que pueda ser tratado por separado, movilidad de la técnica puesto que puede ser utilizada en campo, y reducción del volumen del residuo de modo que se facilite la disposición final.

4.3.4 Decantación

La separación gravitacional es una técnica simple para separar las partículas sólidas más grandes. Es utilizado para separar aceites de agua por acción de la gravedad; el residuo se almacena en tanques, donde los sólidos se asientan en el fondo de las vasijas debido al período de tiempo prolongado ¹.

Sin embargo, la decantación no es efectiva para la separación de partículas finas. Adicionalmente las borras presentan emulsiones fuertes y para su rompimiento se requieren tratamientos más agresivos que resuelvan por completo la emulsión ¹.

Por esta razón se recomienda el uso de equipos de fuerza centrífuga y así mejorar la eficiencia del tratamiento ¹.

¹ THE SASKATCHEWAN PETROLEUM INDUSTRY. Waste management guidelines. 1996.

4.3.5 Centrifugación

En algunos casos los procesos de evaporación resultan ser demorados para remover el agua de las borras. Otras técnicas como la centrifugación permiten recuperar el aceite y agua de un residuo impregnado mediante el uso de máquinas centrifugas. Este tratamiento se apoya en la aplicación de polímeros para facilitar el proceso de separación ^{1 2}.

El proceso puede ser mejorado mediante el uso de centrífugas decantadoras, que se encargan de la separación de las partículas muy finas mediante la fuerza de aceleración gravitacional que se logra por la acción de rotación rápida del tambor ^{1 2}.

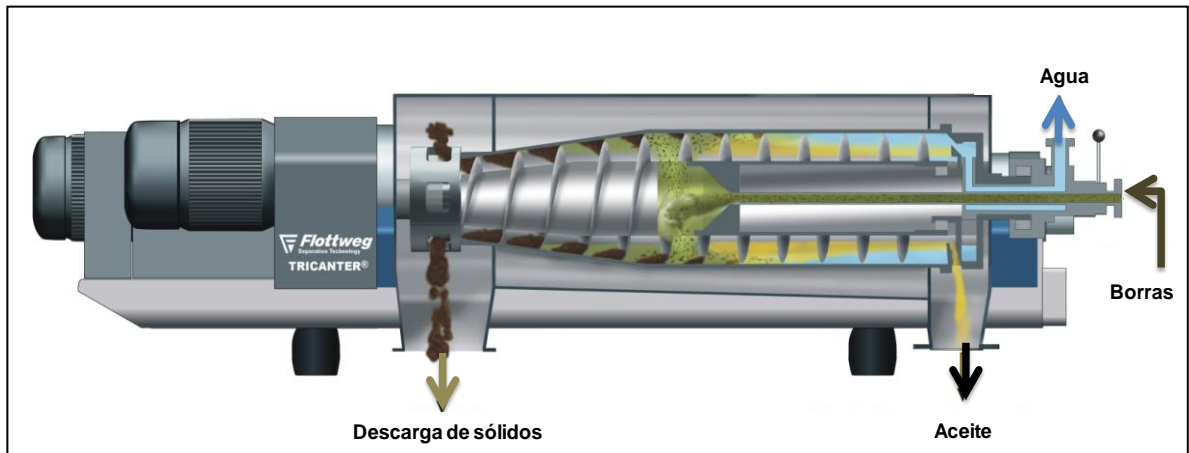
En este tambor los sólidos sedimentados son transportados mediante una hélice al diámetro inferior, mientras que el líquido se descarga por medio de unos orificios ajustables en la parte cilíndrica del tambor ^{1 2}.

Uno de los equipos utilizados en campo es la Centrífuga Decantadora Tricanter (Imagen 9), diseñada para la separación de productos que contengan tres fases, es decir, la separación simultánea de dos fases líquidas no miscibles con diferentes densidades (agua y aceite) y una fase sólida la cual es la más pesada de todas las fases ^{1 2}.

¹ LYONS W. Handbook of petroleum & natural gas engineering. Vol 2. Gulf Publishing Company, 1996. ISBN: 0-88415-643-5.

² REIS J. Environmental Control in Petroleum Engineering. Gulf Publishing Company. Houston, Texas. 1996.

Imagen 9. Centrífuga Decantadora Tricanter



Fuente: **Flottweg Decanters and Tricanter**®¹

El pretratamiento es decisivo para la eficiencia de la separación, tal como reducir la viscosidad de la borra mediante un calentamiento, la aplicación de coagulantes y/o floculantes para mejorar la separación de partículas finas.

Actualmente en el mercado se pueden conseguir diferentes diseños de centrífugas decantadoras, cuyas características dependen del residuo a tratar.

4.3.6 Deshidratación (Dewatering)

Mediante esta operación de separación mecánica, se deshidratan las borras que tienen mayor concentración de agua, se separan los sólidos presentes en la fase acuosa del residuo^{1,2}.

¹ FLOTTWEG SEPARATION TECHNOLOGY. Tap a new oil well Flottweg Decanters and Tricanter® for oil sludge treatment. On line: http://www.flottweg.de/cms/upload/downloads/old/Oil_Sludge_en.pdf

² ORSZULIK S. Environmental Technology in the Oil Industry. ISBN: 978-1-4020-5471-6. Springer Science 2008.

El procedimiento contempla el tratamiento por medio de la deshidratación de grandes volúmenes de borras, la posterior disposición adecuada del desecho y el tratamiento del agua producida durante esta operación.

Para complementar el proceso se utilizan productos químicos adicionales, como Polímeros para coagular y/o flocular las partículas más finas y disminuir el contenido de sólidos en el agua.

Los componentes de una unidad de dewatering son:

- Centrífuga.
- Tanque de recepción.
- Tanque de mezcla de productos químicos.
- Bombas de inyección y mezcla.
- Bombas de transferencia.

Para determinar la concentración óptima del coagulante y/o floculante, deben realizarse pruebas de laboratorio como la prueba de jarras, y así evitar la sobredosis de productos que conllevan a un tratamiento ineficiente.

Los sólidos provenientes de la deshidratación del residuo, pasan a tratamientos posteriores dependiendo del contenido de hidrocarburos, y el agua recuperada es retornada al sistema de tratamiento de aguas de producción.

4.3.7 Estabilización/Solidificación

En este tratamiento se añade suficiente agente estabilizante/solidificante para inmovilizar los constituyentes tóxicos. Este proceso es el comúnmente utilizado para inmovilizar metales pesados en el residuo, de tal forma que pueda ser utilizado posteriormente en las alternativas de disposición final ¹.

Los agentes estabilizantes más utilizados son cal, polvillos de hornos de cemento, cemento Portland y otros componentes. El proceso de estabilización con cal puede ser previo o posterior a las operaciones de deshidratación en las cuales ya han sido removidos los contaminantes orgánicos ¹.

La realización de un tratamiento previo a la disposición final del residuo tiene como ventajas ¹:

- La recuperación de aceite con fines comerciales.
- Reducción del volumen del residuo y por consiguiente reducción de los gastos de transporte y disposición.
- Minimización de la contaminación del medio ambiente así como los riesgos a la salud ocasionados por los contaminantes de los residuos almacenados.

La no realización o un error en la selección de la operación adecuada para el tratamiento de las borras inicialmente, conlleva a un residuo de gran volumen, y con altas concentraciones de hidrocarburo sin recuperar, que termina por convertirse en un pasivo ambiental para la Operadora, tal y como puede observarse en la Imagen 10.

¹ESPINOZA J. Tratamiento y disposición final de residuos industriales generados en una refinería. 2003, Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Geología, Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas, Vol. 6, pp. 20-31.

Imagen 10. Borras acumuladas en una fosa de almacenamiento de un campo de producción



Fuente: **El Autor**

4.4 ALTERNATIVAS PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS

Una vez realizado el tratamiento de las borras, los desechos deben ir a disposición final, la cual debe satisfacer los siguientes objetivos de calidad:

- El método o técnica de disposición debe estar acorde con las características del residuo
- La disposición debe pensarse teniendo en cuenta los efectos ambientales del método o técnica adoptada.

4.4.1 Alternativas *in situ* y *ex situ* para la disposición final de los residuos

Se distinguen dos tipos de tecnologías¹:

- *In situ*: corresponde a tratamientos que se realizan en el lugar donde se encuentra el residuo, sin necesidad de excavar el sitio en donde se encuentran los residuos contaminados.
- *Ex situ*: la realización de este tipo de alternativa requiere la excavación del suelo para remover el material a tratar que puede ser manejado en el mismo sitio o fuera de él.

En la Tabla 3 se presenta un resumen de las ventajas y desventajas de ambas tecnologías.

4.4.2 Biorremediación

La Biorremediación es una alternativa de tipo biológica, mediante la cual los microorganismos (plantas, hongos y bacterias) se utilizan para degradar o neutralizar sustancias tóxicas a productos metabólicos menos tóxicos que sean ambientalmente seguros en suelos, materiales subsuperficiales y aguas.

Los microorganismos utilizan los contaminantes como fuentes de alimentos y los convierten en biomasa y subproductos inocuos, tales como CO₂ y sales inorgánicas.

¹ VOLKE T., VELASCO J. Tecnologías de remediación para suelos contaminados. Instituto Nacional de Ecología. 2002, pp. 64.

Tabla 3. Ventajas y desventajas de las alternativas *In situ* y *Ex situ*

TECNOLOGÍA	<i>IN SITU</i>	<i>EX SITU</i>
VENTAJAS	<p>Permite tratar el residuo sin necesidad de excavar ni transportar.</p> <p>Potencial disminución en costos</p>	<p>Menor tiempo de tratamiento.</p> <p>Más seguros en cuanto a uniformidad: es posible homogenizar y muestrear periódicamente.</p>
DESVENTAJAS	<p>Mayores tiempos de tratamiento.</p> <p>Pueden ser inseguros en cuanto a uniformidad: heterogeneidad en las características del residuo.</p> <p>Dificultad para verificar la eficacia del proceso.</p>	<p>Necesidad de excavar el lugar.</p> <p>Aumentos en costos e ingeniería para equipos.</p> <p>Debe considerarse la manipulación del material y la posible exposición al contaminante.</p>

Fuente: **Tecnologías Remediación**¹

Las bacterias son las más empleadas en el proceso de biorremediación, aunque también se han empleado otros microorganismos como hongos y algas, para la degradación de compuestos tóxicos en el suelo.

La biorremediación puede clasificarse en estrategias *in situ* y *ex situ*. Las técnicas *in situ* ofrecen ventajas como el menor costo de la operación y la disminución de la generación de desechos a eliminar en la superficie.

¹ VOLKE T., VELASCO J. Tecnologías de remediación para suelos contaminados. Instituto Nacional de Ecología. 2002, pp. 64.

Esta técnica utiliza microorganismos auctótonos (propios del sitio), los cuales pueden degradar un gran número de constituyentes del residuo, pero su eficiencia se encuentra limitada por las altas concentraciones de componentes tóxicos los cuales inhiben su actividad.

Para que los microorganismos puedan eliminar las sustancias contaminantes, el medio en el que se encuentre el residuo debe tener la temperatura, los nutrientes, PH, humedad, la concentración de oxígeno y de la estructura química de los hidrocarburos adecuados. Estas condiciones facilitan el crecimiento y la degradación del residuo. Cuando las condiciones no son las adecuadas, los microorganismos presentan un crecimiento lento y una baja eficiencia en el tratamiento, de allí radica la importancia del control de las condiciones del proceso.

4.4.2.1 Landfarming (tratamiento en tierra)

Esta técnica consiste en dispersar el contaminante sobre una superficie impermeable (por lo general geomembrana), y consiste en provocar la oxidación biológica de los hidrocarburos contenidos en el suelo, por medio de la estimulación de la microflora natural que se encuentra en el suelo mediante el agregado de fertilizantes, arado y riego superficial ¹.

Esta disposición se lleva a cabo en áreas de gran extensión, las cuales son irrigadas para mantener la humedad y se adicionan nutrientes para el crecimiento de los microorganismos ¹.

¹ KHAN F., HUSAIN T., HEJAZI R. An overview and analysis of site remediation technologies. 2004, Journal of Environmental Management, Vol. 71, pp. 95-122.

A estas áreas se les realizan volteos con tractores para aumentar el contacto de los compuestos orgánicos con los microorganismos y mantener la circulación del aire y facilitar la degradación biológica.

Imagen 11. Técnica de Landfarming aplicada en un campo de producción de hidrocarburos



Fuente: **El Autor**

Por tratarse de un sistema abierto requiere de un diseño y manejo cuidadoso, para evitar contaminación aguas subterráneas y superficiales por lixiviados.

Se describen a continuación los aspectos más relevantes de este método:

- Se requiere una gran extensión de área.
- Al residuo se le debe realizar un tratamiento previo para eliminar los contaminantes volátiles y así evitar la generación de contaminación al aire.
- La temperatura óptima de operación está en un rango de 25 °C - 40 °C.
- Mantener el PH del suelo entre 6,5 - 7,5 provee una condición óptima para la biodegradación.

Imagen 12. Técnica de Landfarming aplicada en un campo de producción de hidrocarburos



Fuente: **El Autor**

Los costos de instalación, operación y mantenimiento, son bajos con respecto al empleo de otras tecnologías de remediación de residuos petroleros, y puede durar

entre 6 - 24 meses, dependiendo de la concentración del contaminante y del volumen del desecho.

4.4.2.2 Biopilas

También se conoce como bioceldas, biomontículos o pilas de compostaje. Las Biopilas son un tipo de biorremediación *ex situ*, consiste en la reducción de la concentración de contaminantes derivados del petróleo impregnados en residuos como el suelo mediante la biodegradación¹.

El método se constituye en la colocación del material biodegradable en montículos o pilas, a las cuales se les aplica una aireación activa volteando la pila por tubos de aireación y se adicionan nutrientes para favorecer la degradación. Para evitar la contaminación de los alrededores, las pilas pueden ser revistadas por plásticos o lozas de concreto. Así, los diques que rodean las pilas controlarán los lixiviados. Con frecuencia se emplean lonas impermeables sobre el suelo para reducir las emisiones gaseosas, dependiendo de la caracterización fisicoquímica de los gases será necesario aplicar algún tratamiento adicional¹.

Entre los factores que influyen esta alternativa se destacan¹:

- Los hidrocarburos deben ser no halogenados con concentraciones en suelo menores 50000 ppm.
- Grandes extensiones de área.
- Necesidad de población microbiana mayor 1000 UFC (Unidades Formadores de Colonias) por gramo de suelo.

¹ BENAVIDES J., QUINTERO G., GUEVARA A., JAIMES D., GUTIÉRREZ S., MIRANDA J. Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos derivados del petróleo. 2006, Nova Publicación Científica, Vol. 4. ISSN: 1794-2470.

Esta tecnología se asemeja con la técnica de Landfarming, ya que ambas se llevan a cabo fuera del sitio, utilizan el oxígeno contenido en el aire y estimulan el crecimiento de bacterias aerobias. Sin embargo la diferencia se presenta en la forma de aireación del residuo, en Landfarming el oxígeno se suministra labrando o arando el terreno contaminado, mientras que en las Biopilas el aire se inyecta o extrae a través de tubos perforados o ranurados que atraviesan la pila.

4.4.2.3 Bioventeo

El objetivo de la tecnología de Bioventeo es estimular la biodegradación natural de cualquier compuesto biodegradable en condiciones aerobias. Consiste en inyectar aire en el sitio contaminado a través de pozos de extracción, por movimiento forzado, con bajas de velocidad de flujo, con el fin de proveer solamente oxígeno necesario para sostener la actividad de los microorganismos degradadores ^{1 2}.

Generalmente se lleva a cabo en áreas poco profundas y pequeñas, y puede ser una alternativa viable económicamente puesto que no requiere área adicional para llevar a cabo el tratamiento, ni el uso de maquinaria pesada y es fácil de combinar con otras tecnologías ^{1 2}.

Algunos factores que pueden limitar la aplicación de esta alternativa son ^{1 2}:

- Concentración del contaminante.
- Falta de nutrientes.
- Bajo contenido de humedad.
- Dificultad para alcanzar el flujo de aire necesario.

¹ KHAN F., HUSAIN T., HEJAZI R. An overview and analysis of site remediation technologies. 2004, Journal of Environmental Management, Vol. 71, pp. 95-122.

² VOLKE T., VELASCO J. Tecnologías de remediación para suelos contaminados. Instituto Nacional de Ecología. 2002, pp. 64.

4.4.2.4 Fitorremediación

Constituye en una variación de las técnicas de biorremediación, que se basa en el uso de plantas, sistemas microbianos de las plantas, para contener, inmovilizar, estabilizar y/o degradar compuestos contaminantes del ambiente. Existen cinco tipos de fitorremediación ¹:

- **Fitoextracción:** se emplea para captar iones metálicos con la ayuda de las raíces de las plantas así como su acumulación en tallos y hojas.
- **Rizofiltración:** es similar a la Fitoextracción, la única diferencia es que en lugar de cultivar las plantas destinadas a este proceso en el suelo, se cultivan en invernaderos, y posteriormente son cultivadas en estanques con agua contaminada, propiciando que las raíces sean las encargadas de absorber los tóxicos presentes.
- **Fitodegradación:** igualmente aprovecha las propiedades metabólicas de las plantas en degradar compuestos orgánicos, absorbiéndolos para ser metabolizados, los metabolitos generados frecuentemente ayudan a acelerar el crecimiento de las plantas.
- **Fitoestimulación:** se usan los exudados radiculares para promover el desarrollo de microorganismos degradativos (bacterias y hongos).

¹ LÓPEZ S., GALLEGOS M., PÉREZ L., GUTIÉRREZ M. Mecanismos de fitorremediación de suelos contaminados con moléculas orgánicas xenobióticas. 2005, Revista Internacional de Contaminación Ambiental, ISSN: 0188- 4999, Vol. 21, pp. 91-100.

- **Fitoestabilización:** es un mecanismo que utiliza a la planta para desarrollar un sistema denso de raíces que le permite reducir la movilidad de los contaminantes evitando el transporte a capas subterráneas o a la atmósfera.

Entre las limitaciones de la Fitorremediación se encuentran:

- Altas concentraciones de contaminantes los cuales pueden ser tóxicos para las plantas.
- Los tiempos del proceso pueden ser prolongados.
- El proceso se limita a la profundidad de la penetración de las raíces o a aguas poco profundas.

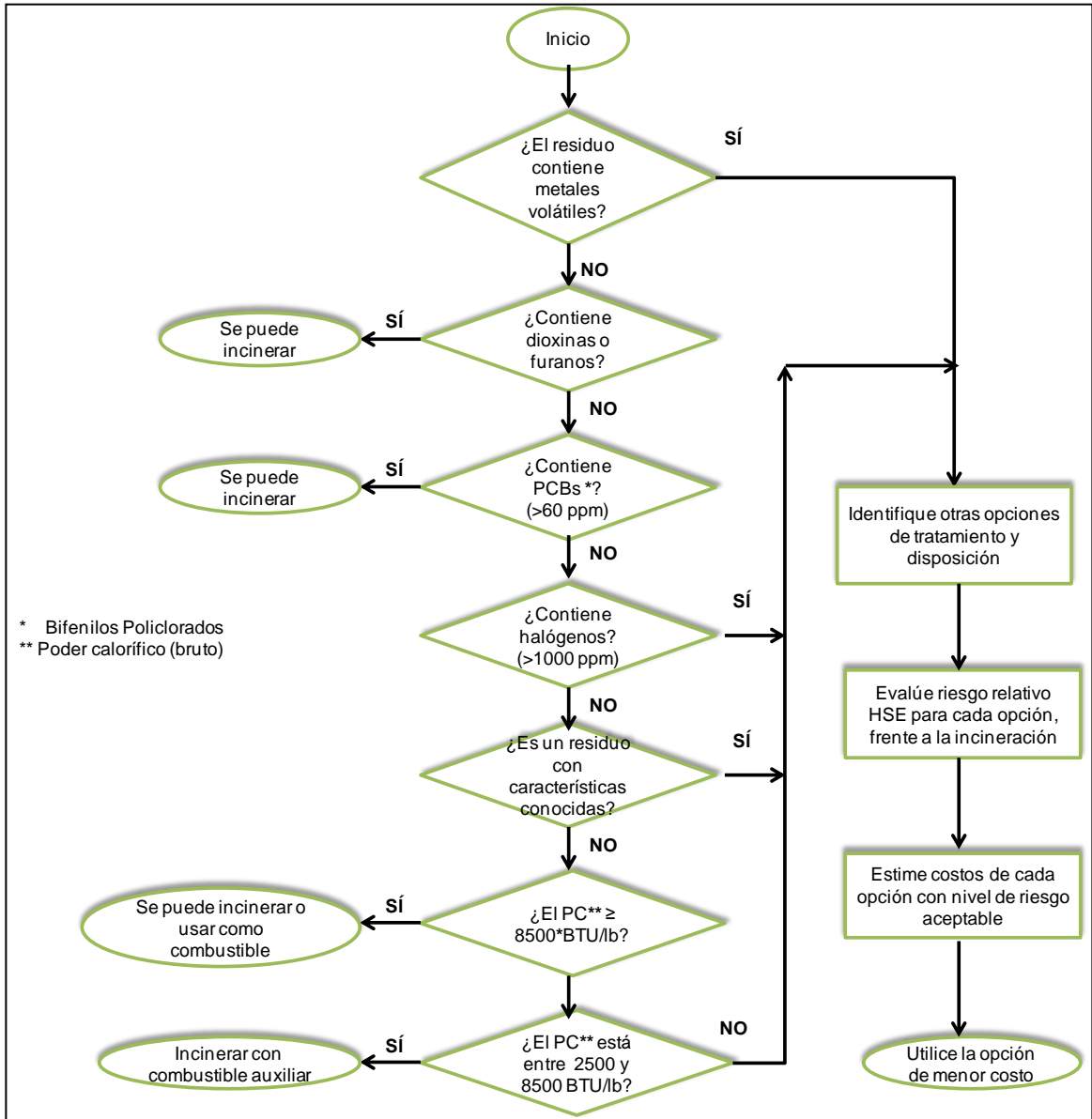
4.4.3 Incineración

Se considera este método como efectivo, puesto que reduce gran cantidad de desechos que deben tratarse, y la destrucción casi completa de los residuos peligrosos. Por lo general, la ceniza es inerte y puede ser utilizada en procesos de fijación química de cemento/ceniza fina. Los metales pesados a menudo son transformados en óxidos generalmente menos tóxicos. Los carcinógenos combustibles y los compuestos biológicamente activos son destruidos de manera efectiva. La temperatura de operación de los incineradores industriales es mayor de 840 °C ¹.

Dependiendo de la cantidad de hidrocarburo contenida en el desecho será la necesidad de emplear otro combustible que facilite la total combustión, y por consiguiente los costos de la operación aumentarán ¹.

¹ ESPINOZA J. Tratamiento y disposición final de residuos industriales generados en una refinería. 2003, Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Geología, Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas, Vol. 6, pp. 20-31.

Figura 6 Estrategia conceptual para determinar la incinerabilidad de un residuo

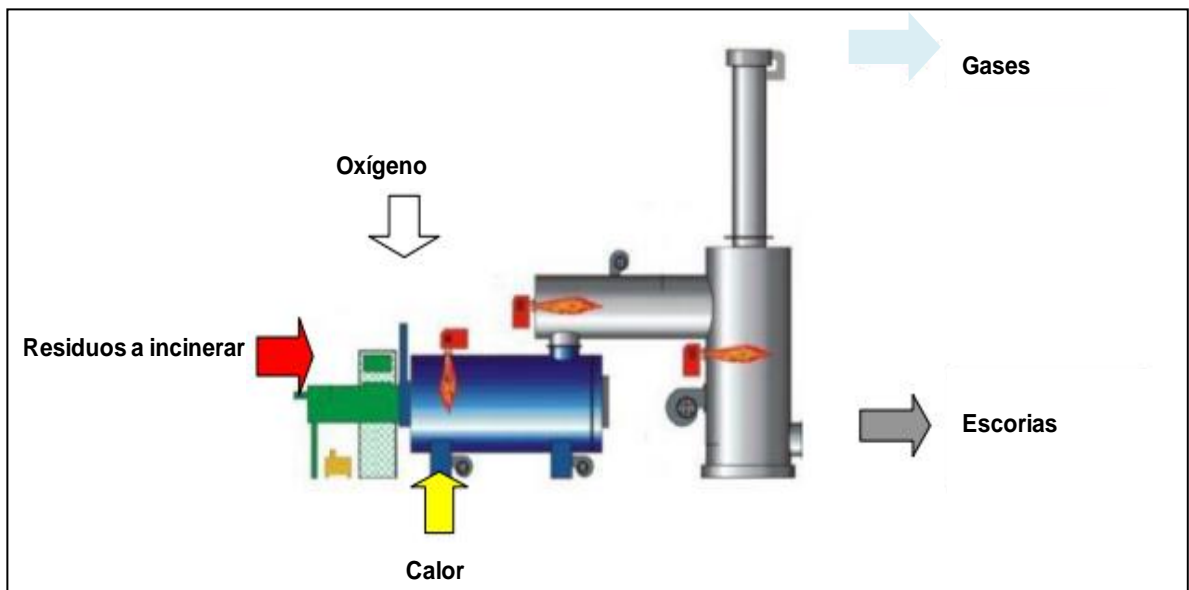


Fuente: MMA. Guía ambiental para proyectos de perforación de pozos de petróleo y gas¹.

¹ MMA. Guía ambiental para proyectos de perforación de pozos de petróleo y gas. Colombia. Bogotá D. C. 1999.

Se recomienda realizar un estudio previo que tenga en cuenta la naturaleza del residuo antes de tomar la decisión de incinerarlo. En la Figura 6, se describe una estrategia conceptual para determinar la incinerabilidad del residuo.

Imagen 13. Incinerador de residuos industriales



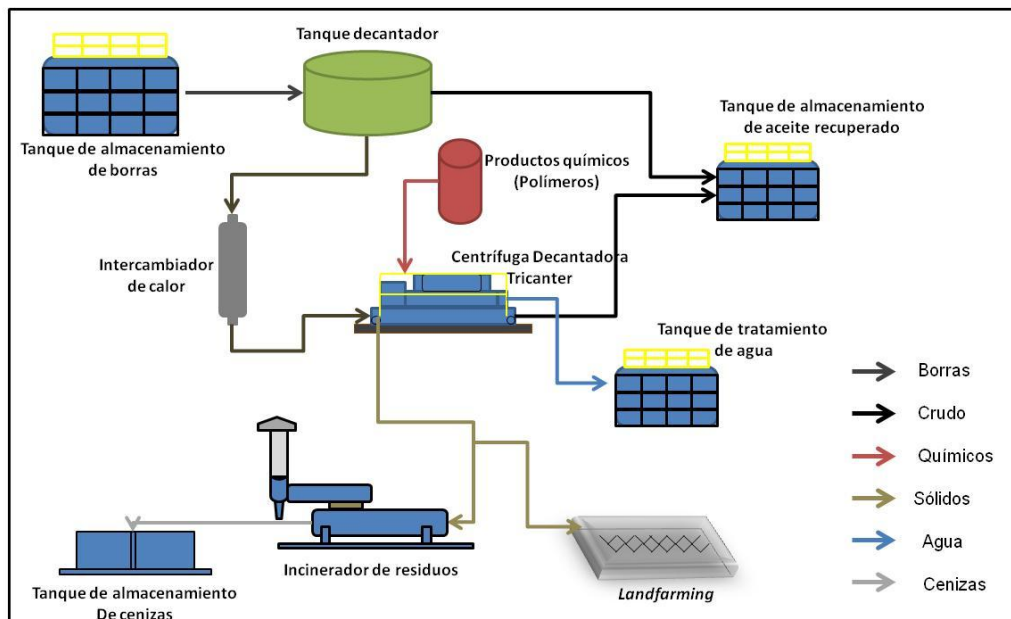
Fuente: **Simyl S.A. Ingeniería, Mantenimiento y Servicios para un ambiente mejor¹**

Una de las limitaciones al emplear esta técnica es la emisión de contaminantes a la atmósfera que pueden causar contaminación ambiental, y por esta razón deberán tramitarse licencias ambientales que cumplan con las especificaciones estipuladas en la reglamentación vigente.

¹ SIMYL S.A. INGENIERÍA, MANTENCIÓN Y SERVICIOS PARA UN AMBIENTE MEJOR. Horno de incineración de residuos. On line: <http://www.simyl.cl/hornos.pdf>

Una sola de las tecnologías mencionadas no es suficiente para tratar completamente el desecho, por lo que se hace necesario combinarlas para lograr un tratamiento y disposición satisfactoria; esto implica que los procesos deben estar combinados en trenes de tratamiento, como sucede de forma similar con el tratamiento del agua de producción.

Figura 7. Tren de tratamiento de borras y disposición final.



En la figura se presenta un ejemplo de tratamiento y disposición final de borras, que incorpora técnicas como decantación, químicos, centrifugación, landfarming e incineración.

5. CONCLUSIONES

El objetivo principal de los métodos de tratamiento y disposición final es la selección de un sistema que recicle al máximo, disminuya la generación de residuos, impliquen bajo costo de tratamiento, y minimicen el impacto para la salud humana y el medio ambiente.

La selección del tratamiento y alternativa de disposición final depende en gran medida de las características del residuo, el volumen a disponer, las reglamentaciones ambientales, el sitio seleccionado, entre otros. De igual forma, estas alternativas están limitadas por factores de tipo técnico, ambiental y económico.

La biorremediación se presenta como la mejor alternativa para la disposición final de los desechos generados durante el tratamiento de las borras, ya que permite la implementación de diferentes opciones que se adaptan a las necesidades y regulaciones ambientales.

El tratamiento de Landfarming es una de las técnicas más aplicadas actualmente para biodegradar residuos aceitosos, además de ser económica, efectiva y bajo nivel tecnológico. Sin embargo, requiere de grandes extensiones de área y tiempos prolongados de tratamiento.

La incineración es la técnica más efectiva para la eliminación completa de residuos aceitosos, ha de tenerse en cuenta que es una tecnología que representa altos costos operacionales, y requiere de licencias ambientales adicionales para su aplicación.

Una sola de las tecnologías mencionadas no es suficiente para tratar completamente las borras, por lo que se hace necesario combinarlas para lograr un tratamiento y disposición satisfactoria teniendo en cuenta el impacto ambiental que pueden producir la ejecución de estas técnicas.

Las compañías Operadoras pueden implementar técnicas de minimización de borras mediante la optimización de las operaciones de producción para mantener las corrientes de agua libres de arrastre de aceites, de manera que el volumen de borras se reduzca al mínimo.

En situaciones reales, la mayoría de las compañías Operadoras optan por seleccionar Contratistas especializadas en este tipo de servicios, las cuales cuentan con los permisos y licencias ambientales exigidas por la ley y así aprovechar al máximo y disponer el residuo sin alterar las condiciones del medio ambiente.

6. RECOMENDACIONES

Realizar un análisis fisicoquímico de las borras para caracterizar la muestra e identificar los componentes y su concentración. De acuerdo con los resultados obtenidos deben estudiarse las distintas opciones de tratamiento y disposición final y seleccionar la alternativa que permita la disposición del residuo de acuerdo a la legislación ambiental colombiana.

Revisar las condiciones de operación de los tratamientos de fluidos, optimizar los tratamientos químicos aplicados en campo como la dosificación de productos químicos, temperatura de los fluidos, con el objetivo de minimizar el arrastre de aceite a las etapas posteriores del tratamiento, especialmente en el tratamiento del agua de producción.

Evaluar la factibilidad económica y operacional de implementar las diferentes opciones de tratamiento en un campo de hidrocarburos para el tratamiento de borras generadas durante las operaciones de producción.

BIBLIOGRAFÍA

AKER SOLUTIONS. Processing solutions. On line:
http://www.akersolutions.com/Documents/Drilling%20Technologies/Process%20Systems/Processing_solution_brochure.pdf

ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ. UPB. Guía para el Manejo Integral de Residuos. ISBN: 978-958-44-3075-5. Colombia. Medellín. 2008.

ARNOLD, Kenn y STEWART, Maurice. Emulsions and Oil Treating Equipment. Gulf Publishing Company, Elsevier Inc, 2009.

BASHAT H. Managing waste in exploration and production activities of the petroleum industry. Environmental Advisor. On line:
<http://www.eeaa.gov.eg/english/main/Env2003/Day1/Oil/bashat.aeec.pdf>

BENAVIDES J., QUINTERO G., GUEVARA A., JAIMES D., GUTIÉRREZ S., MIRANDA J. Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos derivados del petróleo. 2006, Nova Publicación Científica, Vol. 4. ISSN: 1794-2470.

CAMBIELLA A., BENITO J.M., PAZOS J. Centrifugal separation efficiency in the treatment of waste emulsified oils. 2006, Chemical Engineering Research and Design, Vol. 84, pp. 69-76.

CHILINGAR G., BEESON C. Surface Operations in Petroleum Production. New York: American Elsevier Publishing Company, 1969.

COLLINS G. Geochemistry of oilfield waters. Elsevier Scientific Publishing Co. Amsterdam. 1975.

COLOMBIA. CONGRESO DE COLOMBIA. Ley 23. (19, diciembre, 1973). Por la cual se conceden facultades extraordinarias al Presidente de la República para expedir el Código de Recursos Naturales y protección al medio ambiente y se dictan otras disposiciones. Bogotá D.C., 1973. 3 p.

COLOMBIA. CONGRESO DE COLOMBIA. Ley 9. (24, enero, 1979). Por la cual se dictan Medidas Sanitarias. Bogotá D.C., 1979. 82 p.

COLOMBIA. CONGRESO DE COLOMBIA. Ley 99. (22, diciembre, 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- y se dictan otras disposiciones. Bogotá D.C., 1993. 44 p.

COLOMBIA. CONGRESO DE COLOMBIA. Ley 430. (16, enero, 1998). Por la cual se dictan normas prohibitivas en materia ambiental, referentes a los desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones. Bogotá D.C., 1998. 2 p.

COLOMBIA. CONGRESO DE COLOMBIA. Ley 1252. (27, noviembre, 2008). Por la cual se dictan normas prohibitivas en materia ambiental, referentes a los residuos y desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones. Bogotá D.C., 2008. 9 p.

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 1333. (21, julio, 2009). Por la cual se establece el procedimiento sancionatorio ambiental y se dictan otras disposiciones. Bogotá D.C., 2009. 17 p.

COLOMBIA. MAVDT/OCADE. Gestión Integral de Residuos o Desechos Peligrosos. Bases conceptuales. Colombia. Bogotá, D.C. 2007. 186 p.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA. Decreto 2811. (18, diciembre, 1974). Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. Bogotá D.C.: MAVDT, 1974.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA. Decreto 1541. (26, julio, 1978). Por el cual se reglamenta la Parte III del Libro II del Decreto-Ley 2811 de 1974: “De las aguas no marítimas” y parcialmente la Ley 23 de 1973. Bogotá D.C.: MAVDT, 1978. 66 p.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA. Decreto 1594. (26, junio, 1984). Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II y el Título III de la Parte III -Libro I- del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos. Bogotá D.C.: MAVDT, 1984. 55 p.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Decreto 1713. (06, agosto, 2002). Por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994, la Ley 632 de 2000 y la Ley 689 de 2001, en relación con la prestación del servicio público de aseo, y el Decreto-Ley 2811 de 1974 y la Ley 99 de 1993 en relación con la Gestión Integral de Residuos Sólidos. Bogotá D.C.: El Ministerio, 2002. 26 p.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Decreto 4741. (30, diciembre, 2005). Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y manejo de los residuos o desechos peligrosos

generados en el marco de la gestión integral. Bogotá D.C.: El Ministerio, 2005. 25 p.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 1402. (17, julio, 2006) Por la cual se desarrolla parcialmente el Decreto 4741 del 30 de diciembre de 2005, en materia de residuos o desechos peligrosos. Bogotá D.C.: El Ministerio, 2006. 3 p.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Decreto 2820. (05, agosto, 2010). Por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales. Bogotá D.C.: El Ministerio, 2010. 32 p.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Decreto 3930. (25, octubre, 2010). Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI - Parte III- Libro II del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones. Bogotá D.C.: El Ministerio, 2010. 29 p.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Decreto 4728. (23, diciembre, 2010). Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 3930 de 2010. Bogotá D.C.: El Ministerio, 2010. 3 p.

COLOMBIA. MINISTERIO DE SALUD. Resolución 2309. (24, febrero, 1986). Por la cual se dictan normas para el cumplimiento del contenido del Título III de la Parte IV del Libro I del Decreto-Ley 2811 de 1974 y de los Títulos I, III y XI de la Ley 9 de 1979, en cuanto a Residuos Especiales. Bogotá D.C.: MAVDT, 1986. 28 p.

COLOMBIA. MINISTERIO DEL INTERIOR. Decreto 321. (17, febrero, 1999). Por el cual se adopta el Plan Nacional de Contingencia contra derrames de Hidrocarburos, Derivados y Sustancias Nocivas. Bogotá D.C.: MAVDT, 1999. 8 p.

COLOMBIA. MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Decreto 948. (05, junio, 1995). Por el cual se reglamentan, parcialmente, la Ley 23 de 1973, los Artículos 33, 73, 74, 75 y 76 y el Decreto-Ley 2811 de 1974; los Artículos 41, 42, 43, 44, 45, 48 y 49 de la Ley 9 de 1979; y la Ley 99 de 1993, en relación con la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire. Bogotá.: MAVDT, 1995. 57 p.

COLOMBIA. MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Resolución 415. (13, mayo, 1998). Por la cual se establecen los casos en los cuales se permite la combustión de los aceites de desecho y las condiciones técnicas para realizar la misma. Bogotá D.C.: MAVDT, 1998. 3p.

COMPAÑÍA MEXICANA DE EXPLORACIONES S.A. Métodos para la deshidratación de hidrocarburos. Sinergia. Revista de Comunicación Interna de COMESA. Edición 17. México. 2008.

CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE COLOMBIA 1991.

CONVENIO DE BASILEA. Sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación. Suiza. Basilea. 1989.

DÍAZ CONSUEGRA, Harving. Revisión de los procesos de biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos, aplicados en Colombia. Especialista en

Ingeniería Ambiental. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Civil. 1998.

ESPINOZA J. Tratamiento y disposición final de residuos industriales generados en una refinería. 2003, Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Geología, Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas, Vol. 6, pp. 20-31.

FLOTTWEG SEPARATION TECHNOLOGY. Tap a new oil well Flottweg Decanters and Tricanters ® for oil sludge treatment. On line: http://www.flottweg.de/cms/upload/downloads/old/Oil_Sludge_en.pdf

GANG L., SHUNAI G., FENGMEI L. Treatment of oilfield produced water by anaerobic process coupled with micro-electrolysis. 2010, Journal of Environmental Sciences, Vol 22, pp. 1875- 1882.

KHAN F., HUSAIN T., HEJAZI R. An overview and analysis of site remediation technologies. 2004, Journal of Environmental Management, Vol. 71, pp. 95-122.

LYONS W. Handbook of petroleum & natural gas engineering. Vol 2. Gulf Publishing Company, 1996. ISBN: 0-88415-643-5.

LÓPEZ S., GALLEGOS M., PÉREZ L., GUTIÉRREZ M. Mecanismos de fitorremediación de suelos contaminados con moléculas orgánicas xenobióticas. 2005, Revista Internacional de Contaminación Ambiental, ISSN: 0188- 4999, Vol. 21, pp. 91-100.

MMA. Guía ambiental para proyectos de perforación de pozos de petróleo y gas. Colombia. Bogotá D.C. 1999.

MMA. Guía de manejo ambiental para el desarrollo de campos petroleros. Colombia. Bogotá D.C. 1997.

MINISTERO DE MINAS Y ENERGÍA, REPÚBLICA DEL PERÚ. Guía ambiental para la disposición de desechos de perforación. Perú.

ORSZULIK S. Environmental Technology in the Oil Industry. ISBN: 978-1-4020-5471-6. Springer Science 2008.

PETRO-MINE DRILLING FLUIDS. Guidelines for waste disposal of petroleum (E&P) waste. Environmental laws and regulations. India.

PINZÓN, Gustavo Andrés y MORENO, Marlon Rolando. Definición de estándares operativos para el tratamiento de aguas residuales. Ingeniería de Petróleos. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos, 2007.105 p.

RAILROAD COMMISSION OF TEXAS. Waste Minimization in the Oil Field. Oil and Gas Division. U.S. Texas. 2001.

REIS J. Environmental Control in Petroleum Engineering. Gulf Publishing Company. Houston, Texas. 1996.

RODRÍGUEZ, G. Las licencias ambientales y sus procesos de reglamentación en Colombia. Foro Nacional Ambiental. Colombia. Bogotá D.C. 2011.

SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE. Dirección de Evaluación, Control y Seguimiento Ambiental. Gestión Integral de Residuos Peligrosos. Colombia. Bogotá D.C. 2008.

SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE. Gestión Integral de Residuos Peligrosos. Colombia. Bogotá D.C. 2009.

SIMYL S.A. INGENERÍA, MANTENCIÓN Y SERVICIOS PARA UN AMBIENTE MEJOR. Horno de incineración de residuos. On line: <http://www.simyl.cl/hornos.pdf>

SHPINER R., VATHI S., STUCKEY D.C., Treatment of oil well “produced water” by waste stabilization ponds: Removal of heavy metals. 2009, Water Research, Vol. 43, pp. 4258-4268.

SUÁREZ L. 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. Ingeniería Ambiental. Universidad Nacional de Colombia, 2011.

THE SASKATCHEWAN PETROLEUM INDUSTRY. Waste management guidelines. 1996.

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN. Curso de manejo seguro de residuos tóxicos o peligrosos. Sistema de gestión para el manejo de sustancias químicas y residuos tóxicos. Chile.

U.S. CONGRESS, OFFICE OF TECHNOLOGY ASSESSMENT. Managing industrial solid wastes from manufacturing, Mining, Oil and Gas Production, and utility coal combustion-background. U.S. Washington D.C. 1992.

VOLKE T., VELASCO J. Tecnologías de remediación para suelos contaminados. Instituto Nacional de Ecología. 2002, pp. 64.