

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS EN LAS ETAPAS DE TRATAMIENTO, TRANSPORTE, ALMACENAMIENTO PARA LA REFINERÍA ESTATAL DE ESMERALDAS

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

**MIGUEL EDUARDO CARRERA CLAVIJO
JORGE AUGUSTO SÁNCHEZ HIDALGO**

**DIRECTOR: ING. LUIS CUMBAL, PhD
CODIRECTOR: ING. CARLOS PALACIOS**

Sangolquí, 2005-12-02

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto “DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS EN LAS ETAPAS DE TRATAMIENTO, TRANSPORTE, ALMACENAMIENTO PARA LA REFINERÍA ESTATAL DE ESMERALDAS” fue realizado en su totalidad por Miguel Eduardo Carrera Clavijo y Jorge Augusto Sánchez Hidalgo, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

Ing. Luis Cumbal, PhD
DIRECTOR

Ing. Carlos Palacios
CODIRECTOR

Sangolquí, 2005-12-02

LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS EN LAS ETAPAS DE TRATAMIENTO, TRANSPORTE, ALMACENAMIENTO PARA LA REFINERÍA ESTATAL DE ESMERALDAS”

ELABORADO POR:

Miguel Eduardo Carrera Clavijo

Jorge Augusto Sánchez Hidalgo

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

EL DECANO

Sangolquí, 2005-12-02

DEDICATORIA

Para mi Dios, que es mi creador y dador de vida, y mi Madre Dolorosa que han estado protegiéndome y amparándome en todos los días de mi vida, controlando mis acciones y fortaleciendo mi espíritu. Gracias por ser mis compañeros fieles.

Este proyecto de grado esta dedicado en su totalidad especialmente para mis padres que estuvieron junto a mí durante mi vida estudiantil, dieron su mejor sacrificio por que sobresalga de todas las dificultades que se presentaron a lo largo de mi vida, fueron mi apoyo en todos los momentos especialmente en los más difíciles, y me brindaron su amor incondicional, su cariño y amistad durante todos los días de mi crecer como persona. Gracias por haber dado todo su esfuerzo para que consiga esta ingeniería, gracias por haber sido los guías de mi camino que con su modelo y ejemplo han sabido educar a un hombre de bien. Por todas estas cosas y muchas más, gracias por ser mis padres (Edu y Ade) los amo con todo mi corazón.

Para mi hermanita querida (Puli) que ha sabido compartir muchos años de mi vida y me ha apoyado en todo y nunca me ha abandonado. Siempre has estado a mi lado en las buenas y en las malas. Gracias por ser como eres. Te quiero mucho.

Para mis mejores amigos y amigas que han luchado junto a mí para concluir una etapa más de la vida y que sin ellos no hubiera sido lo mismo, ya que hemos vivido grandes momentos y nos ha llenado de alegría nuestro corazón. Gracias amigos y amigas de todo corazón.

Y para todas esas personas que aportaron con un granito de arena para mi formación personal y académica en todo momento de mi vida, en especial para mis cuatro abuelitos.

Con todo mi amor, Miguel Eduardo Carrera Clavijo.

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de Tesis a todas aquellas personas que han influido y siguen influyendo en mi vida, y gracias a las cuáles puedo amanecer cada día con nuevos deseos de luchar por lo que creo:

En primer lugar a Dios y a mi Madre Dolorosa, por ser fuente inagotable de alivio, paz y por no abandonarme nunca.

A mi madre Ivonne, por su amor, valentía, voluntad y sacrificio; sin los cuáles nunca habría podido culminar mis estudios universitarios.

A mi hermana Belén y mi hermano Santi, por su esfuerzo, sus ganas y por brindar su alegría, sus consejos y su buena compañía siempre que es necesario.

A mis tíos Wilfrido y Santiago, por su cariño y apoyo incondicional ante las circunstancias difíciles de la vida.

A mis abuelitos Wilfrido y Beatriz, por sus oraciones diarias y porque aún puedo contar con la bendición de su presencia.

A todos mis amigos del Colegio San Gabriel, por los lazos irrompibles de fraternidad que conservamos y por poder considerarlos mis hermanos.

A mis nuevos y antiguos amigos del Coro de la ESPE, y a su director Eugenio Auz; por su amistad, por darme la oportunidad de vivir experiencias inolvidables a través de la música, y por haber complementado mi educación universitaria con una cantidad innumerable de valores.

Por último, dedico este trabajo a todos los ecuatorianos que no dejan de soñar en mejores días, y que con su trabajo honesto construyen las bases del país en que todos queremos vivir.

Para todos ellos con cariño: Jorge Sánchez Hidalgo.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Escuela Politécnica del Ejército, y a la Facultad de Ingeniería Mecánica; por habernos acogido en sus aulas durante nuestros años en la universidad; a nuestro Director y Co-Director el Ing. Luis Cumbal PhD. Y el Ing. Carlos Palacios por su sabio aporte y consejo; y a las siguientes personas o entidades que colaboraron con la realización del presente Proyecto de Tesis:

- Gerencia de Protección Ambiental de Petroecuador
- Procuraduría General de Petroecuador
- Unidad de Protección Ambiental de Petroindustrial
- Unidad de Desarrollo Tecnológico e Investigación de Petroecuador
- Dr. Juan Carlos Chimbo
- Lcda. Erika Alzamora
- Ing. Edwin Ramos
- Lcdo. Luis Vallejo
- Ing. Fausto Ramos

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO.....	ii
LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	vi
INDICE DE CONTENIDOS.....	vii
TABLAS.....	xi
FIGURAS.....	xv
NOMENCLATURA.....	xvii
ANEXOS.....	xix

CAPÍTULO 1. GENERALIDADES

1.1 Antecedentes	1
1.1.1 Ubicación geográfica.....	1
1.1.2 Condiciones Climáticas.....	1
1.1.3 Condiciones Ecológicas.....	1
1.1.4 Descripción del Complejo Industrial.....	2
1.1 Definición del problema	9
1.2 Objetivos	10
1.2.1 Objetivo General.....	10
1.2.2 Objetivos Específicos	10
1.3 Alcance del Proyecto	11
1.4 Justificación e importancia del Proyecto	12

CAPÍTULO 2. DESECHOS SÓLIDOS INDUSTRIALES

2.1 Historia	15
2.2 Fuentes y tipos de desechos sólidos industriales	22
2.2.1 Clasificación por origen.....	22
2.2.2 Clasificación por estado	34
2.2.3 Clasificación por tipo de manejo.....	35

2.2.4 Fuentes de generación y composición de los desechos sólidos.....	36
2.3 Sistemas de manejo de desechos sólidos industriales.....	37
2.3.1 Producción de desechos.....	39
2.3.2 Almacenamiento in situ.....	40
2.3.3 Recolección.....	41
2.3.4 Transferencia y transporte.....	42
2.3.5 Procesado y recuperación (Tratamiento).....	43
2.3.6 Disposición.....	45
2.3.7 Otros aspectos prácticos asociados con sistemas de manejo de desechos sólidos.....	46
2.3.8 Riesgos asociados al manejo de los desechos sólidos.....	47
2.4 Planificación del manejo de los desechos sólidos industriales.....	48
2.4.1 Definición de términos.....	48
2.4.2 Marco para las actividades de planeación.....	49
2.4.3 Períodos de tiempo de planeación.....	50
2.4.4 Niveles de planeación.....	50
2.4.5 Tipos de planes.....	52
2.4.6 Pasos para la planeación.....	54
2.5 Legislación.....	57
2.5.1 Legislación Nacional.....	57
2.5.2 Legislación Internacional.....	65

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO APLICABLES A LOS DESECHOS SÓLIDOS EN LA REFINERÍA ESTATAL DE ESMERALDAS

3.1 Reducción mecánica del volumen.....	67
3.1.1 Equipos de compactación.....	68
3.2 Reducción química del volumen.....	75
3.2.1 Incineración.....	75
3.2.2 Pirólisis.....	84
3.3 Reducción mecánica del tamaño.....	90

3.4 Separación de componentes	94
3.4.1 Landfarming.....	95
3.4.2 Fijación química.....	112

CAPÍTULO 4. COMPARACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO DE DESECHOS SÓLIDOS Y SELECCIÓN DE LA MÁS ADECUADA

4.1 Tecnologías Físicas	122
4.1.1 Compactación.....	122
4.1.2 Trituración.....	123
4.2 Tecnologías Químicas	124
4.2.1 Incineración.....	124
4.2.2 Pirólisis.....	126
4.2.3 Fijación Química.....	127
4.3 Tecnologías de Bioremediación	128
4.3.1 Landfarming.....	128
4.4 Análisis de las alternativas	129

CAPÍTULO 5. TRANSPORTE DE DESECHOS SÓLIDOS EN LA REFINERÍA ESTATAL DE ESMERALDAS

5.1 Consideraciones previas al transporte de desechos sólidos	132
5.1.1 Utilización de contenedores para almacenamiento temporal y transporte de desechos sólidos.....	133
5.1.2 Incompatibilidad de mezcla de los desechos sólidos producidos en la REE.....	139
5.1.3 Manipulación de los desechos sólidos en el interior del complejo industrial.....	140
5.1.4 Manipulación de los desechos sólidos en el exterior del complejo industrial.....	142
5.2 Regulaciones de la EPA para el Transporte de Desechos Sólidos	143
5.3 Manifiesto	144

CAPÍTULO 6. ALMACENAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE LOS DESECHOS SÓLIDOS EN LA REFINERÍA ESTATAL DE ESMERALDAS

6.1 Consideraciones previas al almacenamiento de desechos sólidos.....145

6.1.1 Fosa para catalizador gastado de FCC.....147

6.1.2 Celdas de concreto para desechos peligrosos.....147

6.1.3 Losa para acopio de material refractario.....148

6.1.4 Piscina de Landfarming.....148

6.1.5 Fosa para lodos aceitosos.....149

6.2 Procedimientos de almacenamiento in situ.....151

6.3 Almacenamiento y Disposición Final.....154

6.3.1 Desechos Especiales.....156

6.3.2 Desechos Inertes.....158

6.3.3 Desechos Metálicos.....159

6.3.4 Desechos Degradables.....160

6.4 Manifiesto.....161

CAPÍTULO 7. ANÁLISIS ECONÓMICO FINANCIERO

7.1 Análisis Económico-Financiero.....162

CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Conclusiones.....168

8.2 Recomendaciones.....171

TABLAS

Tabla 1.1. Clasificación y cantidad en peso anual de los desechos sólidos generados en la refinería.....	2
Tabla 1.2. Tratamiento y disposición de los residuos sólidos en la REE en la actualidad.....	4
Tabla 1.3. Matriz de cumplimiento del plan de control de desechos sólidos.....	6
Tabla 2.1. Ejemplos de desechos peligrosos generados por industrias.....	27
Tabla 2.2. Desechos caracterizados como peligrosos según el Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador, conocido como Decreto 1215.....	28
Tabla 2.3. Desechos no caracterizados como peligrosos según el Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador, conocido como Decreto 1215.....	32
Tabla 2.4. Instalaciones de producción, actividades o localizaciones típicas asociadas con varias clasificaciones de fuentes.....	36
Tabla 2.5. Niveles de planeación en el manejo de desechos sólidos y sus características.....	51
Tabla 2.6. Áreas típicas de programas para varios grupos funcionales.....	52
Tabla 3.1. Tipos y aplicaciones de los equipos de compactación.....	69
Tabla 3.2. Clasificación de los desechos de la REE que pueden intervenir en la compactación.....	73

Tabla 3.3. Características técnicas del equipo de compactación.....	74
Tabla 3.4. Volumen final de los desechos luego del proceso de compactación.....	74
Tabla 3.5. Estándares de emisión para incineradores de desechos peligrosos.....	76
Tabla 3.6. Características técnicas de incineradores de lecho fluidizado que cumplirían características requeridas para dar tratamiento a desechos sólidos producidos en la REE.....	83
Tabla 3.7. Características técnicas de un horno de pirólisis.....	87
Tabla 3.8. Diferentes tipos de equipos y aplicaciones para la reducción mecánica del tamaño.....	90
Tabla 3.9. Valores que se usan para el factor de tamaño del producto de alimentación.....	92
Tabla 3.10. Clasificación de los desechos de la REE que pueden ser objeto de trituración.....	93
Tabla 3.11. Características técnicas del triturador.....	94
Tabla 3.12. Tiempo (días) requerido para degradar una concentración inicial de contaminante (desecho) a 0.01 mg/kg basados en diferentes constantes cinéticas.....	101
Tabla 3.13. Clasificación de los desechos de la REE que pueden ser objeto de Fijación Química.....	116
Tabla 4.1. Resumen de métodos de tratamiento de desechos peligrosos.....	120

Tabla 4.2. Comparación entre ventajas y desventajas de la compactación.....	123
Tabla 4.3. Comparación entre ventajas y desventajas de la trituración.....	123
Tabla 4.4. Comparación entre ventajas y desventajas de la incineración.....	125
Tabla 4.5. Comparación entre ventajas y desventajas de la pirólisis.....	126
Tabla 4.6. Comparación entre ventajas y desventajas de la fijación química.....	127
Tabla 4.7. Comparación entre ventajas y desventajas del Landfarming.....	128
Tabla 4.8. Explicación de los criterios utilizados para escoger una o varias alternativas de tratamiento de los desechos sólidos de la REE.....	130
Tabla 5.1. Contenedores usados para almacenaje de desechos peligrosos.....	134
Tabla 5.2. Constantes mínimas para la presión interna de aire en los contenedores.....	137
Tabla 6.1. Actual disposición final de los desechos en el área de confinamiento.....	148
Tabla 6.2. Actual disposición final de los desechos sólidos en el área de confinamiento de la REE.....	149
Tabla 6.3. Disposición final de los desechos sólidos especiales.....	156

Tabla 6.4. Estimación del número de celdas requeridas para confinamiento de desechos sólidos especiales que lo ameriten.....	157
Tabla 6.5. Límites permisibles para la identificación y remediación de suelos contaminados en todas las fases de la industria Hidrocarburífera, incluidas las estaciones de servicios.....	158
Tabla 6.6. Disposición final de los desechos sólidos inertes.....	158
Tabla 6.7. Estimación del número de celdas requeridas para confinamiento de desechos sólidos especiales que lo ameriten.....	159
Tabla 6.8 Disposición de desechos metálicos y estimación del número de celdas requeridas para confinamiento temporal de los mismos.....	160
Tabla 6.9 Disposición de los desechos sólidos degradables generados en la REE.....	161
Tabla 7.1. Costos de las maquinarias y factores de costo, de retorno de capital y de valor actual.....	164
Tabla 7.2. Costos anuales de operación y mantenimiento.....	165
Tabla 7.3. Detalle de los ingresos económicos producto de la venta de chatarra, azufre y slop.....	165

FIGURAS

Figura 2.1. Diagrama simplificado que muestra las interrelaciones de los grupos funcionales en un sistema de manejo de desechos sólidos.....	39
Figura 2.2. Ciclo de solución de problemas de la comunidad.....	49
Figura 3.1. Radio de compactación versus volumen de reducción porcentual.....	72
Figura 3.2. Altura diferencial para determinar la tasa de transferencia de calor en un lecho fluidizado	80
Figura 3.3. Procesador de pirólisis, con sus zonas principales y flujos existentes.....	84
Figura 3.4. Esquema de partes de un horno de pirólisis.....	87
Figura 3.5. Potencias requeridas para reducir de tamaño varios desechos sólidos.....	90
Figura 3.6. Variables que intervienen en el proceso de landfarming.....	96
Figura 3.7. Piscina de landfarming utilizada en la REE.....	101
Figura 3.8. Operación típica de un Landfarming con sus componentes principales.....	102

Figura 3.9. Tabla para determinar las tasas de carga superficial y volumétrica para varias profundidades de incorporación, en un suelo de densidad 80 lb/ft ³	105
Figura 3.10. Efectos de utilización de Biomatrix Gold en área de biotratamiento.....	109
Figura 3.11. Proceso de solidificación de dos pasos.....	113
Figura 4.1. Aplicación general de varios métodos de tratamiento vs. características físicas y químicas de los desechos.....	119
Figura 5.1. Típicos contenedores tipo tambor de acero usados para el almacenaje de desechos peligrosos.....	133
Figura 5.2. Forma correcta de marcar las tapas de los contenedores.....	134
Figura 5.3 Diversos tipos de etiquetados para contenedores de desechos peligrosos.....	135

NOMENCLATURA

V_i = Volumen inicial de los desechos sólidos antes de la compactación (m^3)

V_f = Volumen final de los desechos sólidos luego de la compactación (m^3)

r_c = Razón de compactación

i = Resistencia a la tensión de un conglomerado de partículas sometidas a compactación

X = Diámetro de las partículas sometidas a compactación

F = Fuerza de enlace por punto de contacto

N = número medio de coordinación $N = 2 \exp 2.4(1 - \varepsilon)$

ε = \square Fracción de volumen de los espacios vacíos del conglomerado

d_{sm}^3 = Metro cúbico de gas seco y en condiciones estándar

ε_{mf} = porosidad mínima o porosidad para fluidización

L = altura del lecho

A = sección transversal

ε = porosidad

D_p = tamaño de la partícula como una esfera del mismo volumen

ϕ_s = factor de forma

v'_{mf} = velocidad mínima de fluidización

$N_{Re,mf}$ = número de Reynolds

ρ = \square densidad

g = gravedad

a = área superficial de la partícula sólida por unidad de volumen en el lecho (m^{-1})

S = sección transversal hueca del lecho (m^2)

T_1 = temperatura del gas ($^{\circ}K$)

T_2 = temperatura de la superficie del sólido

h = altura total del lecho

dz = altura diferencial

J_H = conocido como el factor J de Colburn

$h = U_{CO}$ = coeficiente global entre la superficie interna de la cámara del reactor y la corriente del fluido (Incineración)

μ = viscosidad dinámica

Q = Transferencia de calor del horno de pirólisis (Btu/h)

A = Área efectiva de transferencia de calor

σ = Capacidad de emisión

T_g = Temperatura de la salida del horno °F

T_F = Temperatura de la superficie de absorción °F

HP = caballos de fuerza

Kg = kilogramos

Kcal = kilocalorías

KW = kilowatts

θ = factor de corrección de temperatura igual a 1.08

K_{T1}, k_{T2} = tasas de descomposición específicas a las temperaturas correspondientes

k_a = Constante de vida-media biológica

Barriles/acre x 0.393 = metros³/hectárea

Libras/ft³ x 0.062 = kilogramos/metro³

ANEXOS

ANEXO 1. Informe del TCLP de pirólisis en una refinería.

ANEXO 2. Informe del TCLP de fijación química en una refinería.

ANEXO 3. Norma utilizada para realizar ensayos TCLP.

ANEXO 4. Tablas de comparación entre las metodologías seleccionadas para los tratamientos de desechos sólidos.

ANEXO 5. Cuadro de compatibilidades entre desechos sólidos peligrosos.

ANEXO 6. Manifiesto para el transporte de desechos sólidos en REE .

ANEXO 7. Manifiesto para el almacenamiento y disposición final de desechos sólidos en REE.

ANEXO 8. Esquemas del área de confinamiento y las celdas existentes en dicha área.

ANEXO 9. Flujo de caja detallado de los ingresos económicos producto de la venta de chatarra, azufre y slop.

ANEXO 10. Fotos del área de confinamiento de la REE.

RESUMEN

Toda actividad petrolera genera impactos ambientales y sociales que no pueden ser evitados. Los daños ocasionados pueden ser irreversibles si no se trata de mitigar al máximo los efectos negativos que las diversas actividades producen en el entorno.

En la refinación del petróleo, uno de los impactos considerables producidos consiste en la continua generación de desechos producto de los diversos procesos que tienen lugar en las instalaciones. Por la naturaleza propia de los procesos químicos que se desarrollan en la refinería, una gran cantidad de estos desechos pueden ser considerados de carácter peligroso, tanto para la salud humana como para el ambiente.

El proyecto específicamente aborda la problemática de los desechos sólidos generados en la Refinería Estatal de Esmeraldas, considerando que en la actualidad existen varias inconformidades con el reglamento e incumplimientos de normas con respecto al manejo de los mismos en las diversas etapas de su ciclo de vida. El Sistema de Gestión de Desechos Sólidos para la Refinería Estatal de Esmeraldas se plantea como una opción necesaria para implementar un manejo ambiental y económicamente adecuado de los mismos al interior y al exterior de sus instalaciones, el cuál se relaciona principalmente con el control en la fuente de los desechos peligrosos y no peligrosos, de modo que se utilicen las mejores prácticas para el tratamiento, transporte y disposición final.

En la actualidad la Refinería de Esmeraldas se ha limitado a la clasificación de los diversos desechos sólidos producidos como resultado de la variedad de procesos al interior de dicha planta. Es necesario que todos estos residuos sean dispuestos en un lugar en el que no presenten un peligro potencial al Medio Ambiente, y en el cuál puedan ser mantenidos bajo control y vigilancia. Sin embargo, antes de su disposición final, es necesario dar tratamiento a los productos clasificados previamente para reducir su capacidad contaminante y transportarlos con las normas de seguridad requeridas hacia un área de confinamiento diseñada para el efecto.

Tomando en cuenta la clasificación de los desechos realizada por la Unidad de Protección Ambiental de la Refinería de Esmeraldas, donde se separó a los

desechos sólidos en especiales, inertes, degradables, y metálicos, con sus respectivos volúmenes anuales; y considerando adicionalmente las características peligrosas de la mayoría de ellos, se establecieron cuatro grupos generales que abarcan las alternativas de tratamiento que son aplicables a los mismos:

- Reducción Mecánica del Volumen
- Reducción Mecánica del Tamaño
- Reducción Química del Volumen
- Separación de Componentes

Dentro de cada uno de estos grupos se analizaron tratamientos para desechos sólidos como la compactación, trituración, incineración, pirólisis, landfarming, y fijación química; indicando sus principios de funcionamiento, características operativas, requerimientos de maquinaria y monitoreo, además de los tipos de desechos sólidos específicos provenientes de las diferentes unidades operativas y administrativas de la REE para los que se deberían aplicar.

Se procedió a comparar las tecnologías mencionadas mediante un estudio minucioso de las ventajas y desventajas que tendría su implementación en las instalaciones de la REE, y se utilizaron tres matrices de decisión para determinar los tratamientos más adecuados para los desechos sólidos agrupados por similitud de características físicas (desechos degradables, desechos especiales e inertes, y lodos). En las mencionadas matrices se consideró aspectos técnicos que incluyeron criterios como la efectividad a largo plazo, confiabilidad a largo plazo, implantabilidad, efectividad a corto plazo; y además se consideró el aspecto económico como factor determinante.

Luego de analizadas las alternativas, y considerando la factibilidad de implementación de las mismas en la REE, se determinó la utilización de las siguientes tecnologías para el tratamiento de los desechos sólidos en la REE:

- Compactación para desechos provenientes de áreas administrativas y degradables.
- Fijación química e Incineración para desechos peligrosos provenientes de unidades operativas y procesos.
- Landfarming para desechos semisólidos (lodos y suelo contaminado con hidrocarburo).

Se abordó posteriormente el tema del transporte de los desechos sólidos en la REE; indicando las normas de seguridad para el personal a cargo de los mismos, características técnicas y tipos de contenedores, y la forma de realizar el etiquetado. Se especificaron las reglas para la manipulación de los desechos tanto in-situ como ex-situ, principalmente la necesidad de determinar la incompatibilidad existente entre algunos compuestos presentes en los desechos, además de las regulaciones a tomarse en cuenta para cumplir lo establecido en la legislación ambiental vigente.

Se diseñó un manifiesto para el transporte de los desechos sólidos, que además de ser un requisito exigido por la ley, será un documento válido para controlar el flujo de transporte de los desechos sólidos desde el punto de generación hasta el punto donde se vaya a disponer.

A continuación se establecieron las condiciones en que se deben almacenar estos desechos de manera permanente para minimizar los efectos negativos tanto al ambiente como a la salud de quienes laboran en las instalaciones de la REE, planteando diversas alternativas en combinación con los tratamientos seleccionados previamente, a fin de optimizar la utilización del Área de Confinamiento de Desechos Peligrosos existente en las instalaciones de la refinería, e indicando el destino de cada tipo de desecho luego del tratamiento. Se realizaron algunas sugerencias con respecto a buenas prácticas en el manejo de los desechos (reciclaje, reuso, reducción y recuperación) que redundarán en la disminución en los volúmenes de los mismos a ser dispuestos. Se diseñó un manifiesto para la disposición de los desechos sólidos, a fin de asegurar la trazabilidad de los mismos durante su ciclo de vida y luego de su disposición. Esta documentación servirá para identificar las causas en caso de que se presenten problemas a futuro con los desechos sólidos dispuestos.

Finalmente, el análisis económico-financiero, determinó la viabilidad de este proyecto considerando las variables económicas tangibles, puesto que por tratarse de un proyecto ambiental no se pueden cuantificar muchos aspectos relacionados con el beneficio de la implementación del mismo que aparecerán con el paso del tiempo y tendrán que ver con el impacto ambiental mitigado.

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

1.1.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La Refinería Estatal de Esmeraldas está ubicada a siete kilómetros de la ciudad de Esmeraldas en dirección suroeste, junto a la vía que conduce al cantón Atacames. Sus instalaciones se encuentran a 300 metros del Río Teaone, a tres kilómetros del Río Esmeraldas y a 3,8 kilómetros del Océano Pacífico en línea recta. El área de influencia operativa de la Refinería Estatal de Esmeraldas cubre una superficie aproximada de 7000 hectáreas

1.1.2 CONDICIONES CLIMÁTICAS

La zona corresponde a un clima tropical de alta humedad, con una temperatura promedio de 24°C, siendo la temperatura máxima de 36°C y la mínima de 16.5°C. El período de lluvias transcurre entre los meses de enero a mayo, mientras que el resto del año corresponde a una temporada seca con lluvias leves y esporádicas. La humedad relativa promedio está entre 81 y 86 %, siendo la máxima de 100%. Los vientos predominantes tienen un flujo del suroeste, con una velocidad promedio de 2 a 4 m/seg, y se manifiestan marcadamente entre los meses de julio a octubre. En el resto del año provienen del sur, suroeste, oeste y noroeste. El porcentaje de calmas equivale al 19% del tiempo.

1.1.3 CONDICIONES ECOLÓGICAS

Las instalaciones y la zona de estudio se encuentran en la zona de vida bosque seco Tropical (bs-T), entre las cotas de 0 a 240 msnm.

1.1.4 DESCRIPCIÓN DEL COMPLEJO INDUSTRIAL

La construcción de la Refinería Estatal de Esmeraldas se inició a fines del año 1972 y su operación en 1977. La primera ampliación concluyó en el año 1987, en que se instalaron unidades adicionales de Destilación Atmosférica, Destilación al Vacío y Reducción de Viscosidad; la capacidad de procesamiento alcanzada con esta ampliación fue de 90.000 barriles diarios de petróleo. La segunda ampliación de la Refinería Estatal Esmeraldas concluyó en 1997 y permitió aumentar la capacidad de refinación de 90.000 a 110.000 bls/ día, adecuándola para procesar crudos pesados.

En cuanto al seguimiento que se da actualmente a la generación de desechos sólidos en las diferentes áreas al interior de las instalaciones de la refinería; en la Tabla 1.1 se puede observar la clasificación de los mismos de acuerdo a su origen, la cantidad en toneladas anuales, así como la clase y tipo de material:

Tabla 1.1. Clasificación y cantidad en peso anual de los desechos sólidos generados en la refinería.

<u>ORIGEN</u>	<u>ESPECIFICACIÓN</u>	<u>CANTIDAD</u> <u>(TON)</u>	<u>CLASE DE</u> <u>MATERIAL</u>	<u>TIPO DE</u> <u>MATERIAL</u>
LIMPIEZA DE CANALETAS Y SISTEMA DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES	Gramma impregnada con aceite	20	A	ESPECIALES
	Piedra y arena contaminada con aceite industriales.	300	A	ESPECIALES
	Piedra y arena contaminada con aceite	200	C	INERTES
	SUBTOTAL	520		
RESIDUOS DE AREAS DE SETRIA	Lodos aceitoso de Tanques	100	A	ESPECIALES
	Lodos de Colectores	20	A	ESPECIALES
	Arenas de diques y cubetos	40	C	INERTES
	SUBTOTAL	160		

Tabla 1.1. Clasificación y cantidad en peso anual de los desechos sólidos generados en la refinería. (Continuación)

SEGURIDAD INDUSTRIAL	Prendas de uso personal (overoles, guantes, etc.)	1,9	A	ESPECIALES
	Otros materiales contaminados	0,6	A	ESPECIALES
	SUBTOTAL	2,5		
PROCESOS Y UTILIDADES	Lodos aceitosos de tuberías, colectores, canales, intercambiadores.	15	A	ESPECIALES
	Coque	4	A	ESPECIALES
	Material refractario	8	A	ESPECIALES
	catalizadores y resinas	10	A	ESPECIALES
	Recipientes/tambores metálicos	0,3	D	METALICOS
	SUBTOTAL	37,3		
DISPENSARIO MEDICO	Característicos	0,1	A	ESPECIALES
	SUBTOTAL	0,1		
BAR - COMEDOR	Alimentos, papelería	20	C	INERTES
	SUBTOTAL	20		
RESIDUOS DE ORIGEN VARIADO	Embalaje de catalizador	10	C	INERTES
	Embalajes de productos químicos (PVC)	5	C	INERTES
	Residuos metálicos contaminados y viruta	80	D	
	Vidrios de laboratorio y otros	1	C	INERTES
	Lámparas y luminarias	0,5	C	INERTES
	Embalajes plásticos de refrigerios servidos en áreas	2	C	INERTES
	Mangueras de hule / lonas	0,2	C	INERTES
	Juntas de amianto y galletas	0,1	A	ESPECIALES
	Residuos de maderas, papeles y cartones	40	B	DEGRADABLES
	Pedazos de lona impregnados con aceites	0,5	A	ESPECIALES
	Sulfuro de hierro	8	A	ESPECIALES
	SUBTOTAL	147,3		
	TOTAL GENERAL-TONELADAS ANUALES	887,2		

Según el informe realizado por la Unidad de Protección Ambiental de la REE en el año 2004, se puede observar que el tratamiento dado a los desechos se limita a su separación y/o clasificación para su posterior disposición en el área externa de residuos, y en algunos casos se procura su reciclaje o reposición, alternativa que no siempre se realiza y en su mayoría de casos no es aprovechada al máximo. Esto puede observarse en la Tabla 1.2 a continuación que formó parte del informe mencionado:

Tabla 1.2. Tratamiento y disposición de los residuos sólidos en la REE en la actualidad.

DESECHOS CARACTERIZADOS COMO PELIGROSOS					
CODIGO	CLASE DE DESECHOS	CANTIDAD m³	%	TRATAMIENTO	DISPOSICIÓN
A 2030	Catalizador Unidad FCC	50	6.6	Confinación en sacos de yute. Estudio para elaboración de bloques	Área Externa de Residuos
SC	Hollín de hornos y calderas	3	0.4	Clasificación	Área Externa de Residuos
SC	Coque impregnado con catalizador	3	0.4	Separación y Confinamiento	Área Externa de Residuos
SC	Restos de ropa contaminada	12	1.6	Separación y Confinamiento	Área Externa de Residuos
A4130	Embalaje de productos químicos	2.5	0.3	Identificación y separación	Área Externa de Residuos
SC	Recipientes de vidrio y otros	1	0.1	Separación y Confinamiento	Área Externa de Residuos
DESECHOS NO CARACTERIZADOS COMO PELIGROSOS					
B0046	Desechos domésticos orgánicos	228	30.3	Recolección y clasificación	Basurero Municipal
B3001	Tierra con hidrocarburos	40	5.3	Bioremediación in situ	Apta para reposición

TABLA 1.2. Tratamiento y disposición de los residuos sólidos en la REE en la actualidad. (Continuación)

B3002	Lodos y arena contaminados con hidrocarburo	220	29.3	Clasificación y Landfarming	Apta para reposición
B3010	Desechos de plástico	1.5	0.2	Recolección y clasificación	Reciclaje
B3020	Desechos de papel y cartón	60	8.0	Recolección y clasificación	Reciclaje
SC	Restos de material refractario	50	6.6	Clasificación	Área Externa de Residuos
SC	Restos de aislante térmico	1	0.1	Clasificación	Área Externa de Residuos
SC	Residuos metálicos	80	10.6	Clasificación	Chatarrero

A pesar de las acciones realizadas para dar solución a los diferentes problemas relacionados con el manejo de desechos sólidos en la refinería, existen varias incongruencias, inconformidades, e incumplimientos de normas con respecto de los mismos; las cuáles se manifiestan en las últimas auditorías ambientales realizadas en las instalaciones de la REE. (Ver Tabla 1.3. Matriz de Cumplimiento del Plan de Control de Desechos Sólidos).

Según el Plan de Manejo de la Ampliación de la Refinería, debe existir un Plan de Control de Desechos, el cuál se relaciona principalmente con el control en la fuente de los desechos peligrosos y no peligrosos, de modo que se proporcione un manejo adecuado en su recolección, transporte y destino final. Para ello se propuso efectuar las siguientes acciones:

- Manejo de desechos peligrosos provenientes de la refinación de petróleo en sus fases de recolección, transporte y disposición final.
- Manejo de desechos de áreas administrativas y operativas en las fases de recolección, transporte hasta su disposición final.

Tabla 1.3. Matriz de cumplimiento del plan de control de desechos sólidos.

ACTIVIDAD	REGISTRO		CUMPLIMIENTO
	2001	2005	
Categorización de los Desechos – Calidad, Cantidad	No	Si	2
Análisis de laboratorio – composición físico-química	No	No	0
Verificación clasificación de Desechos Sólidos – Manual de Manejo de Desechos de PETROECUADOR	No	Si	1
Áreas Administrativas:			
Hay un sistema de separación y almacenamiento de desechos reciclables y no reciclables.	No	No	0
Hay recipientes de colores para la clasificación de desechos reciclables y no reciclables	No	No	0
Área Refinería:			
Cambiaron los tachos por contenedores plásticos de alta resistencia, en cuatro colores para identificar cada tipo de desecho.	No	No	0
El barrido de vías, sitios de parqueo y áreas verdes, así como poda de árboles y césped se almacena en tachos de 55 gl.	No	No	0
Área Unidades Operativas:			
Hay contenedores estacionarios metálicos tipo Roll-off y Roll-on. Pintados e identificados para cada tipo de desecho.	No	No	0
Recolección y transporte Áreas Administrativas:			
El camión de Recolección es suficiente para la cantidad de Desechos que se producen.	No	Si	1
El personal que manipula los residuos cuenta con el equipo mínimo de seguridad.	No	No	1
Los Desechos orgánicos son transportados al Basurero Municipal.	Si	Si	2
En este sistema de recolección se incluyen los desechos de barrido y mantenimiento de espacios verdes	No	Si	1

Tabla 1.3. Matriz de cumplimiento del plan de control de desechos sólidos. (Continuación)

Disposición final Desechos áreas administrativas: La disposición de los residuos no reciclables se dirigen al Basurero Municipal.	Si	Si	2
La disposición de los residuos reciclables son cedidos o negociados por las personas que hacen la recolección.	No	No	1
Desechos Unidades Operativas: Incineración	No	No	0
Utilización del Área Externa de Residuos - AER: Confinar los residuos líquidos Gastados o no utilizados en fosas con impermeabilización de paredes y piso, embalados en recipientes de 55 galones protegidos contra la corrosión.	No	No	0
Existe un Relleno Sanitario tipo trinchera con cobertura diaria revestida con geomembrana y arcilla para los desechos sólidos contaminados con hidrocarburos, catalizadores gastados, empaques de químicos, arenas, grama, etc.	No	No	0
Landfarming para los lodos contaminados con hidrocarburos.	No	Si	1
Implementación de un incinerador de lecho fluidizado	No	No	0
Existe un manual de operación de la disposición final de los desechos sólidos en AER	No	No	0
Control y Supervisión: Se cuenta con dos supervisores para el Manejo de Desechos de la Refinería en la Unidad de Control Ambiental.	No	No	0
Educación Sanitaria y Ambiental: Hay programas de educación y promoción sanitaria y Ambiental.	No	Si	1

Fuente: BEICIP-FRANLAB. 1994. Plan de Manejo Ambiental de la Refinería Estatal de Esmeraldas.

La calificación del cumplimiento de los ítems considerados en la Matriz anterior está realizada en una escala de 0 a 3. Por lo cuál se puede observar la deficiencia existente en el plan de control de desechos sólidos en la actualidad. La generación de desechos sólidos es parte de las actividades que se realizan en un complejo industrial. Dentro de las etapas del ciclo de vida de los desechos sólidos que son: generación, tratamiento, transportación, almacenamiento y disposición final; las instalaciones constituyen el escenario fundamental en el que se desarrollan. En el marco del perfeccionamiento empresarial, es necesario garantizar un mayor nivel de protección ambiental bajo esquemas de Gestión Ambiental, a través de los cuales se potencie el establecimiento de sistemas de manejo seguro.

Se entiende por gestión de los desechos a las acciones que deberán seguir las organizaciones, con la finalidad de prevenir y/o minimizar los impactos ambientales que pueden ocasionar los desechos sólidos en particular. Por plan de manejo se entiende el conjunto de operaciones encaminadas a darles el destino más adecuado desde el punto de vista medioambiental de acuerdo con sus características, que incluye entre otras las operaciones de generación, tratamiento, transporte, almacenamiento y disposición final.

Un aspecto muy relevante en la gestión de los desechos consiste en conocer los impactos ambientales de las diferentes prácticas de gestión existentes. Además, la gestión de desechos posee una amplia variedad de impactos potenciales sobre el medio ambiente, ya que los procesos naturales actúan de tal modo que dispersan los contaminantes y sustancias peligrosas por todos los factores ambientales (aire, agua, suelo, paisaje, ecosistemas frágiles como la bahía, la montaña, las áreas protegidas, así como las áreas urbanas y asentamientos poblacionales, etc.). La naturaleza y dimensión de estos impactos depende de la cantidad y composición de los residuos así como de los métodos adoptados para su manejo.

Desecho sólido industrial es definido como todo desecho o residuo sólido o semisólido resultante de cualquier proceso u operación industrial que no vaya a ser reutilizado, recuperado o reciclado en el mismo establecimiento industrial. Se incluyen en esta definición los residuos o productos de descarte, sean estos líquidos o gaseosos. El carácter de desecho sólido de los últimos lo aporta el contenedor o recipiente que los contiene.

Básicamente el sistema de manejo de los desechos se compone de cuatro sub sistemas:

- **Generación:** Cualquier persona u organización cuya acción cause la transformación de un material en un desecho. Una organización usualmente se vuelve generadora cuando su proceso genera un desecho, o cuando lo derrama o cuando no utiliza más un material.
- **Transporte:** Es aquel que lleva el desecho. El transportista puede transformarse en generador si el vehículo que transporta derrama su carga, o si cruza los límites internacionales (en el caso de desechos peligrosos), o si acumula lodos u otros residuos del material transportado.
- **Tratamiento y disposición:** El tratamiento incluye la selección y aplicación de tecnologías apropiadas para el control y tratamiento de los desechos sólidos o de sus constituyentes. Respecto a la disposición la alternativa comúnmente más utilizada es el relleno sanitario.
- **Control y supervisión:** Este subsistema se relaciona fundamentalmente con el control efectivo de los otros tres subsistemas.

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Toda actividad petrolera genera impactos ambientales y sociales que apenas pueden ser mitigados pero de ninguna manera son evitados. Más aún, no existe en ninguna parte del mundo una experiencia o tecnología que garantice operaciones limpias en el bosque tropical y sus alrededores. Por lo contrario la experiencia de todos los países tropicales con petróleo prueba que los daños son irreparables.

El bosque tropical que aún existe en los alrededores de la Refinería, posee un ecosistema sumamente frágil que no tolera una intervención como la de la industria petrolera. La irracionalidad es extrema si se considera que el crudo utilizado como materia prima en las operaciones es de baja calidad en su mayoría (crudo pesado); para su refinación y transformación se requiere mayor cantidad de energía e infraestructura, lo que genera mayor cantidad de desechos.

El objetivo principal es mitigar los impactos al entorno que los diversos procesos involucrados en la Refinería ocasionan, a través de proyectos que además de incrementar la seguridad al interior de la planta, redundarán en el cumplimiento de estándares ambientales a nivel nacional e internacional.

En la actualidad la Refinería de Esmeraldas se ha limitado a la clasificación de los diversos desechos sólidos producidos como resultado de la variedad de procesos al interior de dicha planta. Es necesario que todos estos residuos sean dispuestos en un lugar en el que no presenten un peligro potencial al Medio Ambiente, y en el cuál puedan ser mantenidos bajo control y vigilancia. Cabe mencionar que por la naturaleza propia de los procesos químicos que se desarrollan en la Refinería, una gran cantidad de estos residuos pueden ser considerados de carácter peligroso. Sin embargo, antes de su disposición final, es necesario dar tratamiento a los productos clasificados previamente para reducir su capacidad contaminante y transportarlos a un área de confinamiento diseñada para el efecto.

Finalmente, el desempeño de todo este sistema bajo normativas que estratégicamente se adapten al funcionamiento de la Refinería Estatal de Esmeraldas, y su monitoreo constante plantean una solución al problema que representan los desechos sólidos generados en la REE.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

- Diseñar un sistema de gestión de desechos sólidos, en las etapas de tratamiento, transporte y almacenamiento para la Refinería Estatal de Esmeraldas.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar una investigación exhaustiva sobre desechos sólidos.
- Definir sistemas rentables y eficientes para el tratamiento de desechos sólidos en la Refinería Estatal de Esmeraldas.

- Determinar métodos rentables y eficientes para el transporte de desechos sólidos en la Refinería Estatal de Esmeraldas.
- Concretar métodos rentables y eficientes para el almacenamiento de desechos sólidos en la Refinería Estatal de Esmeraldas.
- Manejar los desechos sólidos para minimizar la amenaza presente y futura a la salud humana y el medio ambiente.
- Estimular el cumplimiento de normas ambientales en empresas e industrias estatales.
- Promocionar la recuperación, reciclaje y tratamiento de desechos.
- Reducir los costos asociados con el manejo de los desechos sólidos y la protección al medio ambiente, incentivando a los trabajadores a desarrollar innovaciones para reducir la generación de los desechos e implementar una adecuada disposición final.

1.4 ALCANCE DEL PROYECTO

El fin que persigue el presente proyecto es definir las directrices que deberán aplicarse para la posterior ejecución e implantación de los procesos relacionados con el manejo de los desechos sólidos producidos por la refinería desde el tratamiento preliminar que recibirán hasta su almacenamiento y/o disposición final; esfuerzos que estarán destinados a prevenir, controlar y mitigar los impactos ambientales producto de la carencia de un sistema de gestión que de real seguimiento al ciclo de vida de los desechos sólidos a través de las diferentes etapas, así como del desconocimiento y no aplicación de normas.

Este proyecto pasará a formar parte del plan de manejo de residuos, que a su vez es un constituyente primordial dentro del Plan de manejo ambiental de la REE.

El proyecto estará orientado y enfocado en los tipos de desechos sólidos que han sido previamente clasificados por el departamento de seguridad y protección ambiental de la REE con sus respectivos volúmenes estimados (anuales), con el objetivo primario de reducir la generación innecesaria de los mismos, y posteriormente promulgar las estrategias para dar tratamiento,

reciclar aquellos que así lo permitan, transportar, almacenar y disponer de la manera que se requiera.

Considerando que cada una de las diferentes unidades de proceso de las que dispone la refinería produce algún tipo de desecho, y tomando en cuenta una clasificación definida por los siguientes aspectos:

- Propiedades afines de los mismos
- Caracterización de los residuos como peligrosos o no peligrosos

Se establecerá el tipo de tratamiento más conveniente en cuanto a parámetros ambientales, tecnológicos y económicos.

Igualmente, serán establecidas las alternativas más viables para transportar los desechos dentro o fuera de las instalaciones de la REE; y para disponerlos, almacenarlos o eliminarlos de manera que no se perjudique al entorno cumpliendo con los requisitos establecidos en la legislación ambiental que rige sobre los procesos hidrocarburíferos. Esto se plasmará en sendos manifiestos que servirán para controlar el transporte y la disposición de desechos sólidos.

Se tomará como base para el desarrollo del presente proyecto la información disponible dentro de la misma refinería en cuanto a aspectos ambientales, principalmente aquellos relacionados con el manejo de desechos sólidos, principalmente estudios de impacto ambiental, auditorías y consultorías ambientales, etc. Además se recurrirá a fuentes externas de consultas nacionales e internacionales.

1.5 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL PROYECTO

La realización del presente proyecto en la Refinería Estatal de Esmeraldas, es la respuesta a la necesidad e interés de la administración de la misma de actualizar e implantar tecnologías que eleven los estándares de calidad en todos sus procesos. El tratamiento de desechos sólidos de manera técnica es una prioridad impostergable considerando la variedad de problemas ambientales que estos producen en la refinería. El interés particular de la Refinería Estatal de Esmeraldas, y de la Gerencia de Protección Ambiental de Petroecuador recae en reducir al mínimo posible el impacto ambiental producido por el inadecuado manejo de los desechos sólidos, lo que le

permitirá cumplir las regulaciones de la misma Ley de Hidrocarburos y regulaciones ambientales de otros organismos que cada vez son más estrictas. Cabe destacar que con la globalización y la internacionalización de los mercados, todas las empresas (y con más razón las estatales) tienen la responsabilidad de que sus plantas funcionen de manera ambientalmente limpia, pues este está empezando a ser un requisito para que cualquier tipo de producto pueda ser exportados. El sistema de gestión de desechos sólidos es un componente del plan de manejo de desechos, que a su vez conforma el Plan de manejo ambiental de la REE que en la actualidad está siendo revisado y actualizado.

El contar con un sistema de manejo de desechos sólidos le permitirá desempeñarse dentro del marco de normas ambientales y significará un uso más eficiente de la energía utilizada y un ahorro al disponer adecuadamente de los desechos. Además representa un beneficio directo hacia la población de la ciudad de Esmeraldas y el entorno de la misma (ríos, suelos, etc.); puesto que se evita que los mismos terminen en sitios donde se convierten en potenciales peligros para la salud. Es por tanto una inversión a mediano plazo en la salud y el ambiente.

El manejo de los desechos sólidos incluye todas las funciones administrativas, financieras, legales, de planificación e ingeniería involucradas en el espectro de soluciones a problemas de desechos sólidos que afectan a la Refinería Estatal de Esmeraldas e indirectamente a la comunidad con sus habitantes. Las soluciones pueden involucrar relaciones interdisciplinarias complejas tales como planificación urbana y regional, geografía, economía, salud pública, demografía, comunicaciones y conservación, y con un mayor énfasis la ingeniería y ciencia de materiales. La Ingeniería Mecánica desempeña una función preponderante dentro de este proyecto, puesto que las opciones presentadas requieren consideraciones sobre los materiales a ser procesados (especialmente metales), el tipo de maquinaria requerida, y la aplicación de normas de calidad y ambientales a todo el sistema gestionado. El criterio del Ingeniero Mecánico será muy útil al momento de determinar los mejores y más eficientes métodos para el transporte de los residuos y su almacenamiento.

La investigación a ser desarrollada en áreas anexas a la Ingeniería Mecánica (Ing. Ambiental, Geología, Química, etc.) redundará en la mejor preparación como profesionales de quienes realizan el presente proyecto.

Otros beneficios del sistema de manejo de desechos sólidos en la Refinería de Esmeraldas serán:

- Tratamiento del problema que acarrea el mal manejo de desechos sólidos en la Refinería de manera técnica.
- La investigación a realizarse sobre los métodos más idóneos, permitirá la aplicación de un modelo de gestión sencillo y de fácil aplicación.
- Eliminar los costos producidos por el transporte de los residuos hacia lugares inidentificados (volquetas particulares son contratadas para el efecto).
- La materia orgánica contenida en los residuos sólidos adecuadamente gestionada, puede producir energía, evitándose la contaminación antes mencionada; por lo cuál el manejo de los desechos puede significar el punto de partida para proyectos de aprovechamiento de la energía.
- La implantación del sistema de gestión de residuos sólidos deberá ir acompañada de la capacitación del personal en los varios niveles de operación, lo que redundará en el incremento del nivel y capacidad técnica de los participantes.

CAPÍTULO 2

CAPÍTULO 2

DESECHOS SÓLIDOS INDUSTRIALES

2.1 HISTORIA

Los comienzos del manejo de los desechos sólidos se pueden hallar en la antigüedad y en la práctica de recircular desechos producidos por el hombre con fines distintos a los que fueron creados en un inicio. Entre los pioneros en lo que al manejo de desechos sólidos se refiere, se encuentran los Estados Unidos; donde a principios de siglo en la ciudad de Nueva York tuvo lugar uno de los primeros intentos por manejar adecuadamente los desechos sólidos. Se construyó un dique de madera alrededor de la isla Rikers en el río Este, el cuál llenó el área detrás de los pantanos con desperdicios varios provenientes de la construcción y limpieza de la ciudad. Los desechos fueron transferidos de vagones a lanchones en la ciudad, luego remolcados a la isla, descargados mediante dragas a un transportador o a carros sobre rieles, y distribuidos. Ciertamente, fue necesaria alguna clase de plan de manejo para realizar esta gran operación. Nuevamente acá, es evidente que la planificación del manejo de desechos sólidos no es nueva.

La práctica de manejar los desechos sólidos mediante "rellenos sanitarios", se puede encontrar a principios de los años 1940 en los Estados Unidos y una década antes en el Reino Unido. Durante la Segunda Guerra Mundial, el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, se encargó de la modernización de los programas de desechos sólidos para servir como modelo de rellenos sanitarios para comunidades de todos los tamaños. Todavía en 1965, después de una revisión completa de las prácticas de manejo de desechos en los Estados Unidos, el Congreso concluyó:

"... que los métodos ineficaces e inadecuados de disposición de desechos sólidos resultan en paisajes arruinados, crean serios riesgos a la salud pública, incluyendo contaminación del aire y los recursos hídricos, peligro de accidentes y aumento de enfermedades transmitidas por roedores e insectos, tienen un

efecto adverso sobre los valores de la tierra, crean molestias públicas, dicho de otra manera interfieren con la vida y desarrollo de la comunidad; ... que la falla o incapacidad para recuperar y reusar tales materiales económicamente resulta en desperdicio innecesario y deterioro de los recursos naturales;..."¹ .

El Congreso de los EEUU también encontró que la continuación en la tendencia a la concentración de población en áreas metropolitanas y urbanas ha presentado a estas comunidades serios problemas financieros y administrativos en la recolección, transporte y disposición de desechos sólidos. A principios de siglo, la falta de conocimiento acerca de las consecuencias futuras que podían acarrear los desechos sólidos, impedía que se realicen procesos de selección, tratamiento, y almacenamiento controlado. Sin embargo, se procuraba darles disposición, de manera que las primeras prácticas más comúnmente reconocidas para la disposición final de desechos sólidos eran: 1) arrojar sobre el suelo, 2) arrojar en el agua, 3) enterrar con arado en el suelo, 4) alimento para porcinos, 5) reducción, y 6) incineración. No todos estos métodos eran aplicables a todos los tipos de desechos. A continuación se detallan brevemente estos métodos:

Arrojar Sobre el Suelo.- Debido a que era una tarea simple acarrear los desechos sólidos hasta los extramuros de la población y arrojarlos allí, los botaderos a campo abierto se convirtieron en un método común de disposición para comunidades urbanas, y la quema de estos botaderos fue una práctica común. Los botaderos a campo abierto también atraieron moscas y ratas que diseminaron enfermedades. Esta disposición peligrosa se convirtió en un tema de gran preocupación para las autoridades de salud pública a quienes se les dio la responsabilidad para controlar los desechos sólidos.

A través de los años, las divisiones de control de vectores del departamento de salud estatal y el USPHS lograron éxitos sobresalientes en el control de enfermedades transmitidas por vectores mediante el desarrollo, la promoción y la imposición de prácticas sanitarias en rellenos, lo mismo que el almacenamiento, la recolección y el transporte de desechos sólidos.

Arrojar en el Agua.- Aunque este método fue usado por algunas ciudades costaneras, no fue favorecido debido a que las consecuencias de la polución

¹ Reporte al congreso: Disposición de desechos peligrosos, U.S. Environmental Protection Agency, Publicación SW-115; 1974.

fueron bien reconocidas. La desfiguración de la playa de Coney Island en la ciudad de Nueva York se convirtió en un caso oportuno. Sin embargo, la práctica continuó hasta 1933 cuando fue prohibido, finalmente, por la Corte Suprema de los Estados Unidos.

Enterrar con Arado en el Suelo.- Este método de disposición mediante entierro con arado en el suelo fue usado para desechos de alimentos y barrido de calles. Debido a la necesidad de grandes áreas de terreno y al hecho de que los desechos de alimentos debían ser separados de otros desechos, este método no se usó extensivamente, pero volvió a tener interés en los años 1970.

Alimento para Porcinos.- Con frecuencia, los desechos de alimentos fueron dados a cerdos en granjas cercanas a áreas urbanas. Los desechos de alimentos de la ciudad de Nueva York fueron dados a cerdos en las granjas malolientes al pasar el río en Secaucus, Nueva Jersey. Desafortunadamente, debido a esta práctica se extendió la triquinosis cuando se dieron pedazos de cerdo contaminado en la recirculación de desechos de alimentos, los que re infectaron a otros cerdos y a la gente que consumió su carne. Hasta un 16 por ciento de la población de los Estados Unidos fue infectada al comer cerdo, sin cocer, alimentados con desechos de alimentos en el primer tercio de este siglo. No obstante, esta práctica continuó los años 50 y todavía se usa en algunas áreas aisladas de los Estados Unidos, bajo condiciones controladas de cocción y racionamiento.

Reducción.- La reducción de desechos de alimentos, un método que ya no se usa, era un proceso de extracción de la grasa mediante el cual los desechos se trataban para separar las partes sólida y líquida y recuperar la grasa contenida en una o ambas porciones. La parte sólida era conocida como "fertilizante orgánico". Se desarrollaron y usaron varios procesos. La grasa recuperada se usó para hacer pomadas y los grados más baratos de perfumería, lo mismo que como grasa para vagones.

Incineración.- Aunque la incineración fue considerada como un método de disposición final a principios de siglo, ahora es considerada como un proceso de reducción de volumen o un proceso de conversión de energía.

Con la llegada de la revolución industrial, el número de fábricas y la variedad de industrias se incrementó en una gran proporción, dando lugar a un sinnúmero de

desechos provenientes de las operaciones y actividades que se desarrollaban al interior de cada una. Desde entonces los desechos industriales que pueden ser tóxicos, inflamables, corrosivos o reactivos, en las operaciones industriales y de explotación petrolera han sido un problema que debe ser tratado por quienes los generan.

Cuando son manejados incorrectamente, estos desechos pueden presentar serias consecuencias peligrosas a la salud y al ambiente. "En los Estados Unidos, la cantidad de desechos peligrosos generados por industrias fabriles en el país aumentó de 4.5 millones de toneladas estimadas anualmente después de la Segunda Guerra Mundial a unas 57 millones de toneladas en 1975. En 1990, este total se había disparado hasta aproximadamente 265 millones de toneladas."² Estos desechos se generan en cada etapa en el proceso de producción de productos manufacturados, así como durante su uso y su disposición o eliminación. De esta forma, la introducción de muchos productos nuevos para el hogar y la oficina - computadoras, medicamentos, textiles, pinturas y tintes, plásticos – introdujo también desechos peligrosos, incluyendo los productos químicos tóxicos, al ambiente. Éstos, se deben manejar también con cuidado extremo para evitar impactos adversos a la salud humana o al ambiente. La EPA estimó que en el año de 1980 que más de 70.000 diversos productos químicos eran fabricados en los Estados Unidos, y cada año se adicionaban unos 1.000 nuevos productos químicos a la lista. Las consecuencias para la salud humana y para el medio ambiente de muchos de estos productos químicos son en gran parte desconocidas.

Antes de que se creen y entren en vigencia las regulaciones federales y estatales a finales de los 70, la mayoría de los desechos industriales fue dispuestos en rellenos de suelo, almacenados en alteraciones de superficie tales como lagunas, fosas o pozos, descargados en aguas superficiales con poco o nada de tratamiento, o simplemente eran quemados. El manejo erróneo de residuos industriales así como de los peligrosos ha dado lugar a agua subterránea, fuentes, lagos y ríos contaminados así como daños a la fauna y a la vegetación. Mientras tanto, altos niveles de contaminantes tóxicos se han

² A Brief History of Solid Waste Management in the US During the Last 50 Years; Lanier Hickman Jr. and Richard W. Eldredge; MSW Management Magazine; Impresión de Enero/Febrero del 2000

encontrado en los animales y los seres humanos, particularmente en aquellos, como trabajadores de granja y trabajadores petroleros, que se exponen continuamente a estos flujos de residuos.

A principios de los años 80's, los desechos peligrosos se convirtieron en la principal preocupación ambiental de nuestra sociedad. En los 90's, mientras la información científica mostraba algunos problemas devastadores principalmente con los ecosistemas.

El interés hacia los desechos peligrosos se ha incrementado debido a la cantidad de recursos económicos empleados en programas ambientales que tiene que ver con los mismos.

Otro parámetro es que el "50% de los 8.2 billones de dólares empleados en consultorías ambientales, corresponde a manejo de desechos sólidos".³

Como se discutió anteriormente, un desecho puede ser peligroso por una de varias razones. De estas razones, el potencial de causar reacciones tóxicas en los seres humanos es preeminente entre el interés público. Es esta preocupación (sino miedo), combinada con muchos factores como la negligencia, desconfianza, mal juicio, etc., lo que explica porque los desechos peligrosos dominan a otras cuestiones ambientales. El advenimiento de la revolución industrial alentó el progreso de muchos frentes. Los avances de la ciencia médica y la salud pública redujeron la tasa de mortandad incrementando de esta manera la población humana. El consumo de bienes personales creció también rápidamente mientras la producción industrial, la extracción de recursos, y la agricultura intensiva, todas ellas en etapa de expansión proveían más bienes. Con estos bienes vinieron las sustancias tóxicas, algunas veces como parte de los bienes mismos, que se convertían en desechos después de su uso. En otras ocasiones las sustancias tóxicas se encontraban en los desechos generados la producir los bienes.

En el Ecuador, la primera entidad encargada en tratar de dar soluciones al problema del manejo de los desechos sólidos fue el Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias (IEOS) como un ente de derecho privado, que fue creado El 29 de enero de 1965 mediante Decreto Supremo No.179; a pesar de que sus

³ Tchobanoglous George; Solid Waste Management; 1998.

funciones básicas eran elaborar los Planes Nacionales de Agua Potable y Alcantarillado, supervisar su ejecución, y prestar asistencia técnica y financiera. En 1973 creó el “Programa Nacional de Saneamiento Ambiental” integrado por el IEOS y la División Nacional de Saneamiento del Medio Ambiente.

Se reformó nuevamente el IEOS en 1974, para incorporar a sus funciones las relacionadas con la División Nacional de Saneamiento Ambiental y los programas de ingeniería hospitalaria; de donde deriva la nueva competencia: “elaborar normas de control sanitario del medio ambiente en coordinación con los Organismos responsables, las mismas que serán sometidas a la aprobación del Ministerio de Salud Pública”.

Posteriormente fue creado el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI) el 1 de agosto de 1992, organismo encargado de establecer las políticas y estrategias, normas y regulaciones de saneamiento ambiental. El Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias, junto con sus dependencias de saneamiento ambiental y obras sanitarias fueron fusionadas con el MIDUVI el 9 de junio de 1994.

El 9 de junio de 1994 se transfieren al Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda MIDUVI las competencias que las leyes de origen y las sucesivas reformas atribuyan a... y al Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias.

El MIDUVI, asume las funciones del IEOS relacionadas con la programación nacional del sector de agua potable y alcantarillado; la asesoría técnica a los municipios y demás entidades prestadores; la decisión acerca de la adecuación de los proyectos a las normas técnicas, así como sobre estudios u obras a realizarse con aportes del Estado; le correspondía también dictar normas para el diseño, construcción, supervisión, administración, operación y mantenimiento de sistemas de agua potable, alcantarillado y disposición de desechos sólidos; la promoción de la creación de empresas públicas de agua potable; el estudio de las necesidades de agua potable; la celebración de los contratos para sus labores de estudios, construcción y administración.

La competencia nacional, en el manejo de los desechos sólidos le corresponde al Ministerio de Salud Pública, al Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, al Ministerio del Ambiente, al Ministerio de Energía y Minas en coordinación con las municipalidades y la Comisión de Energía Atómica,

Dichas Instituciones son competentes en materia de planificación, regulación, normación, limitación y supervisión de los sistemas de almacenamiento, recolección, transporte y disposición final de basuras, en el medio urbano y rural, y de disposición final de desechos radiactivos de cualquier origen que fueren.

Históricamente en el Ecuador, el tratamiento de los desechos sólidos urbanos no se lo ha enfrentado con seriedad. Aunque se ha mejorado la recolección, hay un gran atraso en su disposición final.

Desde épocas anteriores a la república, las quebradas han sido el lugar preferido para depositar los desechos sólidos, también se han utilizado los terrenos sin cercar, las cuencas de los ríos y la veras del camino. Es así que el antiguo Quito surcado por una infinidad de quebradas, hoy da paso a la nueva ciudad, con la mayor parte de las viejas quebradas rellenas con basura. Los desechos sólidos dispuestos de esta manera contaminan: aire, suelo, agua, afectan el entorno y amenazan la salud de los pobladores.

En el documento “Manejo de Desechos Domésticos y Especiales en el Ecuador, 1994 “ en base a un universo de 50 empresas encuestadas en Quito que generan 1'293.435 Kg.-año de desechos sólidos persistentes en el ambiente (sin tomar en cuenta envases, recipientes y envolturas), se determina que el 80% de estos corresponden a tres ramas industriales:

- Minerales no metálicos, el 35,9%
- Productos metálicos, el 22,3%
- Metálica básica, el 21,8%

En otro aspecto, según la Comisión Asesora Ambiental de la Presidencia de la Republica del Ecuador (CAAM), 1996, en la ciudad de Quito se estima que el 78% de los desechos industriales son manejados por medio de contenedores fijos y camiones de carga frontal. Los desechos van al servicio municipal sin ningún tipo de selección y su disposición final igualmente, se la realiza de forma semejante a los desechos domésticos, sin confinamiento seguro; lo cuál sucede de manera similar en el resto de ciudades del país incluyendo la ciudad de Esmeraldas donde se encuentra localizada la REE.

Como se puede observar en la información recopilada, no existe un estudio definitivo que refleje la real situación respecto a la gestión de desechos sólidos,

dificultándose la aplicación de políticas que permitan solventar los problemas que los mismos originan.

2.2 FUENTES Y TIPOS DE DESECHOS SÓLIDOS INDUSTRIALES

El término “desecho sólido” es inclusivo y comprende todas las fuentes, tipos de clasificaciones, composición y propiedades de los mismos. Los desechos que son descargados pueden tener valor importante en otro marco de referencia, pero ellos tienen poco o ningún valor para el poseedor, quien desea deshacerse de ellos.

En un ámbito general que abarca la variedad de clasificaciones que pueden darse a los desechos sólidos proponemos las siguientes definiciones, con el afán de establecer un marco dentro del cuál nos desenvolveremos al desarrollar el presente proyecto.

Los desechos sólidos se pueden clasificar de varias formas, tanto por su origen, su característica o por su estado.

2.2.1 CLASIFICACIÓN POR ORIGEN

Se puede definir a los desechos por la actividad que los origine, es decir esencialmente esta es una clasificación sectorial. Esta definición no tiene en la práctica límites en cuanto al nivel de detalle en que se puede llegar en ella.

Los desechos más importantes dentro de esta clasificación son:

1) Desechos sólidos municipales:

La generación de desechos sólidos municipales varía en función de factores culturales asociados a los niveles de ingreso, hábitos de consumo, desarrollo tecnológico y estándares de calidad de vida de la población. Los sectores de más altos ingresos generan mayores volúmenes per cápita de los desechos, y estos desechos tienen un mayor valor incorporado que los provenientes de sectores más pobres de la población. Los principales componentes de este tipo de desechos sólidos son:

a) Desechos de alimentos.- Son los residuos de animales o vegetales que resultan del manejo, preparación, enfriamiento e ingestión de alimentos. La característica más importante de estos desechos es que son altamente putrescibles y se descomponen rápidamente, en especial en clima cálido. A menudo, la descomposición conducirá al desarrollo de olores ofensivos. La naturaleza putrescible de estos desechos influencia apreciablemente el diseño y la operación del sistema de recolección de desecho. Además de las cantidades de desechos de alimentos producidos en residencias se producen cantidades considerables de los mismos en cafeterías, restaurantes y en instalaciones institucionales grandes como hospitales, prisiones e instalaciones asociadas con el mercadeo de alimentos, incluyendo tiendas y mercados al por mayor y menor.

b) Basura o escombros.- La basura o escombros consisten en desechos sólidos combustibles y no combustibles de casas, instalaciones, actividades comerciales, etc. excluyendo desechos de alimentos u otros materiales altamente putrescibles. Típicamente, los desperdicios combustibles consisten de materiales como papel, cartón, plásticos, textiles, caucho, cuero, madera, muebles y corte de jardines. Los desperdicios no combustibles consisten en artículos como vidrio loza, envases de hojalata, aluminio, metales ferrosos y no ferrosos, y tierra.

c) Cenizas y residuos.- Materiales que resultan de quemar madera, carbón, coque y otros desechos combustibles en casas, tiendas, instituciones e instalaciones industriales y municipales para calefacción, cocción y disposición de desechos combustibles, se clasifican como cenizas y residuos. Los residuos de plantas de generación de energía, normalmente, no se incluyen en esta categoría. Las cenizas y residuos normalmente, se componen de materiales finos, polvorientos, escorias, clínquer y pequeñas cantidades de materiales quemados total o parcialmente. En los residuos de incineradores municipales también se encuentran vidrio, loza y varios materiales.

d) Desechos de Demolición y Construcción.- Los desechos de edificios demolidos y otras estructuras se clasifican como desechos de demolición. Los desechos de la construcción, remodelación y reparación de residencias individuales, edificios comerciales y otras estructuras se clasifican como desechos de la construcción; estos desechos con frecuencia son clasificados

como basura. Las cantidades producidas son difíciles de estimar y de composición variable, pero pueden incluir tierra, piedras, concreto, ladrillos, mortero, madera, tejas y plomería, partes de calefacción y eléctricos.

e) Desechos Especiales.- Desechos como los del barrido de calles, desperdicios a lo largo de carreteras, desechos de recipientes municipales de desperdicios escombros de cuencas, animales muertos y vehículos abandonados, se clasifican como desechos especiales. Debido a que es imposible predecir el lugar en donde se encontrarán, se identifica a estos desechos como originados en lugares no específicos y dispersos. Esto contrasta con las fuentes residenciales, que también son dispersas pero específicas en cuanto a que la producción es un acontecimiento periódico.

f) Desechos Agrícolas.- Los desechos y residuos que resultan de diversas actividades agrícolas, como los de la siembra y cosecha de surcos, campos y árboles y cultivos de vid, la producción de leche, la producción de animales para sacrificio y la operación de corrales se llaman colectivamente Desechos Agrícolas.

2) Desechos sólidos industriales:

La cantidad de desechos sólidos que genera una industria es función de la tecnología del proceso productivo, calidad de las materias primas o productos intermedios, propiedades físicas y químicas de las materias auxiliares empleadas, combustibles utilizados y los envases y embalajes del proceso. Los desechos sólidos industriales, pueden ser sólidos, o bien líquidos o gases contenidos en envases, entre estos están los de la industria básica, textil, maquinarias, automovilística, goma y curtido de cueros, petróleo, química, alimenticia, eléctrica, transporte, agrícola, etc.

Se dividen en desechos peligrosos y no-peligrosos.

a) Desechos Sólidos Industriales Peligrosos.- Los desechos peligrosos pueden resultar de la fabricación o de otros procesos industriales. Ciertos productos comerciales tales como quitamanchas, pinturas o pesticidas desechados por los establecimientos comerciales o los individuos se pueden también definir como desechos peligrosos. Mientras que la RCRA proporciona una definición general de los desechos peligrosos, la "definición" de los mismos se ha refinado más a fondo con regulaciones que dependen de la legislación vigente en el área geográfica y del tipo de industria que los genera.

Según estimaciones de la EPA, la fabricación, la explotación minera y las industrias agrícolas, junto con fuentes comerciales y domésticas en los Estados Unidos, generan cerca de 8 mil millones de toneladas de desechos cada año, de las cuáles cerca de 265 millones de toneladas eran peligrosas en 1990 bajo las consideraciones de la RCRA. Ese mismo año, los desechos sólidos municipales - recogidos de los hogares, negocios e instituciones - significaron solamente 196 millones de toneladas, o sea alrededor del 2.5 por ciento de todos los desechos generados.

Según la definición dada por el Reglamento Ambiental para las operaciones hidrocarburíferas del Ecuador; los desechos peligrosos son “aquellos desechos sólidos, pastosos, líquidos o gaseosos resultantes de un proceso de producción, transformación, reciclaje, utilización o consumo y que contengan algún compuesto que tenga características reactivas, inflamables, corrosivas, infecciosas, o tóxicas, que represente un riesgo para la salud humana, los recursos naturales y el ambiente de acuerdo a las disposiciones legales vigentes.”

Con el fin de ser más específicos se utiliza la definición dada por la EPA para los desechos de la exploración y producción de crudo y gas, según la cuál un desecho sólido es considerado peligroso sí:

1. La EPA lo ha enumerado en una de estas tres categorías:

- a. Desechos Específicos de la Fuente.*- Esta lista incluye los desechos de industrias específicas tales como refinación del petróleo, preservación de madera y fundición secundaria del plomo, así como los lodos y los procesos de producción de estas industrias.
- b. Desechos Genéricos.*- Esta lista identifica los desechos de procesos de fabricación e industriales comunes; incluyendo solventes gastados, operaciones de desengrase, lixiviados de rellenos de suelo y residuos de la formulación de la tinta.
- c. Productos Químicos Comerciales.*- Esta lista incluye algunos pesticidas, la creosota y otros productos químicos comerciales.

2. “Exhibe una o más de las características siguientes, conforme a ciertas pruebas:

- a. Inflamabilidad
- b. Corrosividad

c. Reactividad y/o Explosividad

d. Toxicidad ”⁴

A continuación se especifican cada una de las características mencionadas anteriormente y que son aplicables a los desechos sólidos que se generan en la REE:

a) Inflamabilidad

Materiales que cuando producen fuego vigoroso, persistente a temperaturas comunes (bajas), y las condiciones anotadas a continuación:

- Si es líquido y tiene un punto de ignición inferior a 60°C.
- Si no es líquido, bajo condiciones de temperatura de 25°C y 1 atm de presión, produce fuego por fricción, absorción de humedad o alteraciones químicas espontáneas.

b) Corrosividad

Se puede considerar al desecho con la característica de corrosividad cuando corroe el acero rápidamente bajo condiciones ambientales normales, atacan la piel de las personas y específicamente:

- Presentan pH < 2, o pH > 12.5.
- Corroen el acero a razón mayor de 6.35 mm al año, a temperatura de 55°C.

c) Reactividad

Los desechos que reaccionan rápida y violentamente, con o sin explosión y originan calor y/o gases, vapores o humos tóxicos en cantidades que afecten la salud, se considera que presentan la característica de reactividad. Específicamente:

- Cuando normalmente son inestables y reaccionan en forma violenta e inmediata.
- Reaccionan violentamente con el agua.
- Forman mezclas potencialmente explosivas con el agua.
- Generan gases, vapores y humos tóxicos.

⁴ EPA, Solucionando el problema de los desechos peligrosos: Programa de RCRA (Washington, C.C.: EPA, Noviembre 1986).

- Poseen en su constitución aniones como cianuros, sulfatos, y por reacción liberan gases, vapores o humos tóxicos.
- Pueden producir reacción con explosión por estímulo externo en ambientes confinados.

Cabe realizar una aclaración de tipo legal-ambiental; ciertos desechos están exentos de la regulación como desechos peligrosos bajo la RCRA aunque pueden potencialmente dañar la salud humana o el ambiente. Estos desechos exentos incluyen:

- Aguas residuales domésticas;
- Las aguas de la irrigación o las descargas industriales permitidas bajo el Clean Water Act , siempre y cuando no se almacenen in-situ;
- Ciertos materiales nucleares según lo definido por la Atomic Energy Act;
- Desechos producto de la exploración y del desarrollo del petróleo, del gas y de la energía geotérmica (los desechos del proceso de refinación del petróleo sí se pueden clasificar como peligrosos);
- Desechos peligrosos de hogares;
- Desechos agrícolas, excepto algunos pesticidas.

En la tabla 2.1 se presentan algunos ejemplos de desechos sólidos peligrosos generados por industrias de diferentes tipos.

Tabla 2.1. Ejemplos de desechos peligrosos generados por industrias.

Industria	Tipos de Desechos
Fabricantes de Químicos	Ácidos y bases Solventes Gastados Basura Reactiva Contenedores de aguas residuales Componentes Orgánicos
Industria de Impresión	Soluciones de metales pesados Residuos de tintas Solventes Contenedores de lodos de la tinta Metales Pesados

Tabla 2.1. Ejemplos de desechos peligrosos generados por industrias. (Continuación)

Industria	Tipos de Desechos
Industria de la Refinación del Petróleo	Contenedores de aguas residuales Benceno y otros Hidrocarburos Lodos del proceso de refinación
Fabricación de productos de cuero	Tolueno y benceno
Industria de papel	Contenedores de residuos de pintura Metales Pesados Solventes Inflamables
Industria de la Construcción	Desechos Inflamables de la pintura Solventes Gastados Ácidos y bases fuertes
Fabricación del Metal	Contenedores de lodos Metales Pesados Residuos de Cianuro Residuos de pintura

Fuente: EPA, Solucionando el problema de los desechos peligrosos: Programa de RCRA De EPA (Washington, C.C.: EPA, Noviembre 1986), 8.

Según el reglamento ambiental para las operaciones hidrocarburíferas en el Ecuador, el cual rige para las operaciones de exploración, explotación, producción y refinación del petróleo y sus derivados; se presenta a continuación la tabla 2.2 de desechos caracterizados como peligrosos.

Tabla 2.2. Desechos caracterizados como peligrosos según el reglamento ambiental para las operaciones hidrocarburíferas en el Ecuador, conocido como decreto 1215.

Código	Tipo de desecho	Reducción, tratamiento y disposición
A0010	Desechos de detectores de radiactividad	
A0046	Desechos sanitarios con características infecciosas	

Tabla 2.2. Desechos caracterizados como peligrosos según el reglamento ambiental para las operaciones hidrocarburíferas en el Ecuador, conocido como decreto 1215. (Continuación)

Código	Tipo de desecho	Reducción, tratamiento y disposición
A1010	Desechos metálicos o que contengan metales tales como antimonio, arsénico, berilio, cadmio, plomo, mercurio, selenio, telurio y/o talio	Incluye, entre otros, cenizas de incineradores inertización/solidificación; disposición controlada
A1040	Desechos que tengan como constituyentes carbonilos de metal y/o cromo hexavalente	
A2030	Desechos de catalizadores	Regeneración y reutilización en cuanto sea posible
A3010	Desechos resultantes de la producción o el tratamiento de coque de petróleo y asfalto	
A3020	Aceites minerales de desecho no aptos para el uso al que estaban destinados	Recuperación, tratamiento, reutilización adecuada
A3021	Desechos de filtros de aceite, filtros hidráulicos, etc.	
A3070	Desechos de fenoles, compuestos fenólicos, incluido el clorofenol en forma de líquido o de lodo	
A3140	Desechos de disolventes orgánicos no halogenados	
A3150	Desechos de disolventes orgánicos halogenados	

Tabla 2.2. Desechos caracterizados como peligrosos según el reglamento ambiental para las operaciones hidrocarburíferas en el Ecuador, conocido como decreto 1215. (Continuación)

Código	Tipo de desecho	Reducción, tratamiento y disposición
A3190	Desechos de residuos alquitranados (con exclusión de los cementos asfálticos) resultantes de la refinación, destilación o cualquier otro tratamiento pirolítico de materiales orgánicos	
A4020	Desechos clínicos y afines	
A4030	Desechos resultantes de la producción, la preparación y la utilización de biocidas y productos fitofarmacéuticos, con inclusión de desechos de plaguicidas y herbicidas que no respondan a las especificaciones, caducados o no aptos para el uso previsto originalmente	
A4060	Desechos de mezclas y emulsiones de aceite y agua o de hidrocarburos y agua	
A4070	Desechos resultantes de la producción, preparación y utilización de tintas, colorantes, pigmentos, pinturas, lacas o barnices	
A4080	Desechos de carácter explosivo	
A4091	Desechos de soluciones ácidas con pH<2	
A4092	Desechos de soluciones básicas con pH>11.5	

Tabla 2.2. Desechos caracterizados como peligrosos según el reglamento ambiental para las operaciones hidrocarburíferas en el Ecuador, conocido como decreto 1215. (Continuación)

A4100	Desechos resultantes de la utilización de dispositivos de control de la contaminación industrial para la depuración de gases	
A4120	Desechos que contiene, consisten o están contaminados con peróxidos	
A4130	Envases y contenedores de desechos que contienen sustancias o materiales incluidos en esta lista	
A4140	Desechos consistentes o que contienen productos químicos que no responden a las especificaciones o caducados correspondientes a las categorías de esta lista	
A4150	Sustancias químicas de desechos, no identificadas o nuevas, resultantes de la investigación, cuyos efectos en el ser humano o el medio ambiente no se conozcan	
A4160	Carbón activado consumido, excepto el resultante del tratamiento del agua potable	

Fuente: Reglamento sustitutivo del reglamento ambiental para las operaciones hidrocarburíferas en el Ecuador, 1998.

b) Desechos Sólidos industriales No-Peligrosos.- Los desechos industriales no-peligrosos son aquellos que están fuera de la definición de la EPA de desecho peligroso, y no son desechos municipales. Los desechos considerados peligrosos son regulados por las leyes de los desechos peligrosos establecidas conforme a los requisitos del subtítulo C de la RCRA, mientras que otros desechos no-peligrosos caen bajo los requisitos de manejo de residuos sólidos del subtítulo D de la RCRA.

Dentro de los desechos sólidos industriales cabe mencionar también a los desechos de plantas de tratamiento; que tienen que ver con los desechos sólidos y semisólidos de instalaciones de tratamiento de aguas, aguas residuales y de desechos industriales, las características específicas de estos materiales varía dependiendo de la naturaleza del proceso de tratamiento.

A continuación se muestra la tabla 2.3 de desechos no caracterizados como peligrosos según el reglamento ambiental para las operaciones hidrocarburíferas en el Ecuador:

Tabla 2.3. Desechos no caracterizados como peligrosos según el reglamento ambiental para las operaciones hidrocarburíferas en el Ecuador, conocido como decreto 1215.

Código	Tipo de desecho	Reducción, tratamiento y disposición
B0045	Desechos domésticos inorgánicos	Clasificación; disposición controlada.
B0046	Desechos domésticos orgánicos	Clasificación; compostaje.
B2011	Ripios	Disposición controlada.
B2020	Desechos de vidrio	Clasificación; reciclaje.
B2041	Agua de formación	Reinyección.
B2042	Sedimentos de perforación y fondos contaminados del almacenamiento o depósito de desperdicios no peligrosos	Disposición controlada de sólidos.
B3001	Tierra con hidrocarburos	Prevención de derrames; Biorremediación, landfarming
B3002	Lodos y arena contaminados con hidrocarburos	Biorremediación, landfarming
B3003	Hidrocarburos recuperados en el flujo de producción y/o tratamiento de efluentes	Reincorporación al proceso de producción
B3004	Desechos de petróleo crudo	Reincorporación al proceso de producción

Tabla 2.3. Desechos no caracterizados como peligrosos según el reglamento ambiental para las operaciones hidrocarburíferas en el Ecuador, conocido como decreto 1215. (Continuación)

Código	Tipo de desecho	Reducción, tratamiento y disposición
B3005	Gases retirados del flujo de producción tales como: sulfuro de hidrógeno y dióxido de carbono, y otros hidrocarburos volatilizados	Recuperación y tratamiento dentro de los procesos de producción.
B3006	Fluidos y lodos de perforación	Priorización de lodos de perforación en base de agua; reciclaje de lodos; tratamiento de sedimentación y decantación; reinyección de líquidos; disposición controlada de sólidos.
B3010	Desechos de plástico	Clasificación; reciclaje.
B3020	Desechos de papel, cartón y productos de papel	Clasificación; reciclaje.
B3030	Desechos textiles	Clasificación; reciclaje.
B3150	Otros desechos inorgánicos industriales no clasificados como peligrosos a especificar	Clasificación; disposición controlada.

Fuente: Reglamento sustitutivo del reglamento ambiental para las operaciones hidrocarburíferas en el Ecuador, 1998.

3) Desechos sólidos mineros:

Los desechos sólidos mineros incluyen los materiales que son removidos para ganar acceso a los minerales y todos los residuos provenientes de los procesos mineros.

4) Desechos sólidos hospitalarios:

Actualmente el manejo de los desechos hospitalarios no es el más apropiado, al no existir en el Ecuador un reglamento claro al respecto. El manejo de estos desechos es realizado al nivel de generador y no bajo un sistema

descentralizado. Al nivel de los hospitales los residuos son generalmente esterilizados.

La composición de los residuos hospitalarios varia desde el residuo tipo residencial y comercial a residuos de tipo medico conteniendo sustancias peligrosas.

Según el Integrated Waste Management Board de California USA se entiende por residuo médico como aquel que esta compuesto por residuos que es generado como resultado de:

- a. Tratamiento, diagnostico o inmunización de humanos o animales.
- b. Investigación conducente a la producción o prueba de preparaciones medicas hechas de organismos vivos y sus productos.

2.2.2 CLASIFICACIÓN POR ESTADO

Un desecho es definido por estado según el estado físico en que se encuentre. Existe por lo tanto tres tipos de residuos desde este punto de vista sólidos, líquidos y gaseosos, es importante notar que el alcance real de esta clasificación puede fijarse en términos puramente descriptivos o, como es realizado en la practica, según la forma de manejo asociada a su naturaleza; Al manejar por ejemplo un tambor con aceite usado y que es considerado un desecho, es intrínsecamente un líquido, pero su manejo va a ser como un sólido pues es transportado en camiones y no por un sistema de conducción hidráulica. Dentro de esta forma de clasificación, en general un desecho también puede ser caracterizado por sus características físicas de composición y generación.

1) Desechos sólidos orgánicos:

Se denominan de esta manera los desechos biodegradables que son putrescibles: restos alimentos, desechos de jardinería, residuos agrícolas, animales muertos, huesos, otros biodegradables excepto la excreta humana y animal.

2) Desechos sólidos inorgánicos:

Son los desechos sólidos inorgánicos, considerados genéricamente como "inertes", en el sentido que su degradación no aporta elementos perjudiciales al

medio ambiente, aunque su dispersión degrada el valor estético del mismo y puede ocasionar accidentes al personal.

3) Desechos sólidos generales:

Dentro de esta categoría se encuentran desechos sólidos como papel y cartón, vidrio, cristal y cerámica, desechos de metales y/o que contengan metales, madera, plásticos, gomas y cueros, textiles (trapos, gasas, fibras), y barreduras.

4) Desechos sólidos pétreos:

Este tipo de desechos se refiere a las piedras, rocas, escombros de demoliciones y restos de construcciones, cenizas, desechos de tablas o planchas resultado de demoliciones.

2.2.3 CLASIFICACIÓN POR TIPO DE MANEJO

Aunque esta clasificación está intrínsecamente relacionada con las anteriores, vale la pena mencionarla por ser la utilizada por alguna literatura. Según la misma se puede clasificar a un desecho por presentar alguna o varias características asociadas al manejo que debe ser realizado:

Desde este punto de vista se pueden definir tres grandes grupos:

1) Residuo peligroso:

Son residuos que por su naturaleza son inherentemente peligrosos de manejar y/o disponer y pueden causar muerte, enfermedad; o que son peligrosos para la salud o el medio ambiente cuando son manejados en forma inapropiada.

2) Residuo inerte:

Residuo estable en el tiempo, el cual no producirá efectos ambientales apreciables al interactuar en el medio ambiente.

3) Residuo no peligroso:

Aquel que no se pueda considerar dentro de ninguna de las anteriores clasificaciones.

2.2.4 FUENTES DE GENERACIÓN Y COMPOSICIÓN DE LOS DESECHOS SÓLIDOS

Las fuentes de desechos sólidos están, en general, relacionados con el uso de la tierra y la zonificación. Aunque se puede clasificar las fuentes hasta un número indeterminado, se han encontrado útiles las siguientes categorías: 1) residencial, 2) comercial, 3) municipal, 4) industrial, 5) áreas libres, 6) plantas de tratamiento y 7) agrícola. En la Tabla 2.4 se presentan las instalaciones de generación de desechos, actividades o localizaciones típicas asociadas con cada una de estas fuentes. También se identifican los tipos de desechos generados, que se discuten a continuación.

Tabla 2.4. Instalaciones de producción, actividades o localizaciones típicas asociadas con varias clasificaciones de fuentes.

F u e n t e s	Instalaciones, actividades o localizaciones donde se generan los desechos	Tipos de desechos sólidos
Residencial	Residencias unifamiliares y multifamiliares, edificios de apartamentos, de poca, mediana y gran altura.	Desechos de alimentos desperdicios, cenizas desechos especiales.
Comercial	Tiendas, restaurantes, mercados, edificios de oficinas, hoteles, moteles, almacenes de impresos, reparación de automóviles, instalaciones médicas e instituciones, etc.	Desechos de alimentos, desperdicios, cenizas, desechos de demolición y construcción, desechos especiales, desechos ocasionalmente peligrosos.
Municipal*	Como los anteriores*	Como los anteriores
Industrial	Construcción, fabricación, manufacturas ligeras y pesadas, refinerías, plantas químicas, madera, minería, generación de electricidad, demolición, etc.	Desechos de alimentos, desperdicios, cenizas, desechos de demolición y construcción, desechos especiales, desechos peligrosos.

Tabla 2.4. Instalaciones de producción, actividades o localizaciones típicas asociadas con varias clasificaciones de fuentes. (Continuación)

Áreas libres	Calles, avenidas, parques, terrenos vacantes, terrenos de juego, playas, autopistas, áreas recreacionales, etc.	Desechos especiales, desperdicios.
Sitio de Plantas de tratamiento.	Agua, aguas residuales y procesos industriales de tratamiento, etc.	Desechos de plantas de tratamiento, compuestos principalmente de lodos residuales.
Agrícolas	Cultivos, huertos, viñedos, ordeñaderos, corrales de ganado y animales, granjas, etc.	Desechos de alimentos compuestos, desechos de la agricultura, desperdicios, desechos peligrosos.

Fuente: George Tchobanoglous, Solid Waste Management; 1998

Básicamente se trata de identificar en una base másica o volumétrica los distintos componentes de los residuos.

Usualmente los valores de composición de residuos sólidos municipales, empresariales, industriales o domésticos se describen en términos de porcentaje en masa, también usualmente en base húmeda y contenidos como materia orgánica, papales y cartones, escombros, plásticos, textiles, metales, vidrios, huesos, etc.

La utilidad de conocer la composición de residuos sirve para una serie de fines, entre los que se pueden destacar estudios de factibilidad de reciclaje, factibilidad de tratamiento, investigación, identificación de residuos, estudio de políticas de gestión de manejo, etc.

2.3 SISTEMAS DE MANEJO DE DESECHOS SÓLIDOS INDUSTRIALES

El objeto de los sistemas de manejo o gestión de desechos sólidos, es proporcionar un conjunto de procedimientos y políticas cuya meta es

administrar de manera ambiental y económicamente adecuada todas las actividades relacionadas con los mismos en las etapas de su ciclo de vida.

Los problemas asociados con el manejo de desechos sólidos industriales en la sociedad actual son complejos debido a la cantidad y a la naturaleza diferente de los desechos, el desarrollo irregular de grandes áreas urbanas, las limitaciones de recursos para servicios públicos en muchas ciudades, los impactos de la tecnología, y las limitaciones emergentes de energía y materias primas. Como consecuencia, si el manejo de los desechos sólidos se va a realizar de una manera eficiente y ordenada, se deben identificar y comprender claramente los aspectos y relaciones fundamentales.

Las actividades asociadas con el manejo de desechos sólidos industriales desde el lugar de producción hasta la disposición final han sido agrupadas en seis grupos funcionales identificados. Considerando cada grupo funcional por separado, es posible:

- Identificar los aspectos y relaciones fundamentase involucrados en cada elemento.
- Desarrollar, donde sea posible, relaciones cuantificables con el propósito de hacer comparaciones, análisis y evaluaciones de ingeniería.

Esta separación de grupos funcionales es importante debido a que permite el desarrollo de una estructura para evaluar el impacto de los cambios propuestos y los futuros avances tecnológicos.

Para resolver problemas específicos de desechos sólidos industriales, los distintos grupos funcionales mencionados a continuación se combinan en lo que generalmente es conocido como un sistema de manejo de desechos sólidos.

- Producción de desechos.
- Almacenamiento in situ.
- Recolección.
- Transferencia y transporte.
- Procesado y recuperación.
- Disposición.

Además, uno de los objetivos del manejo de desechos sólidos es la optimización de estos sistemas para proporcionar la solución más eficiente y

económica, en concordancia con todas las restricciones impuestas por los usuarios del sistema y aquellos que son afectados o controlan su uso. En la figura 2.1 se muestra la interrelación existente.

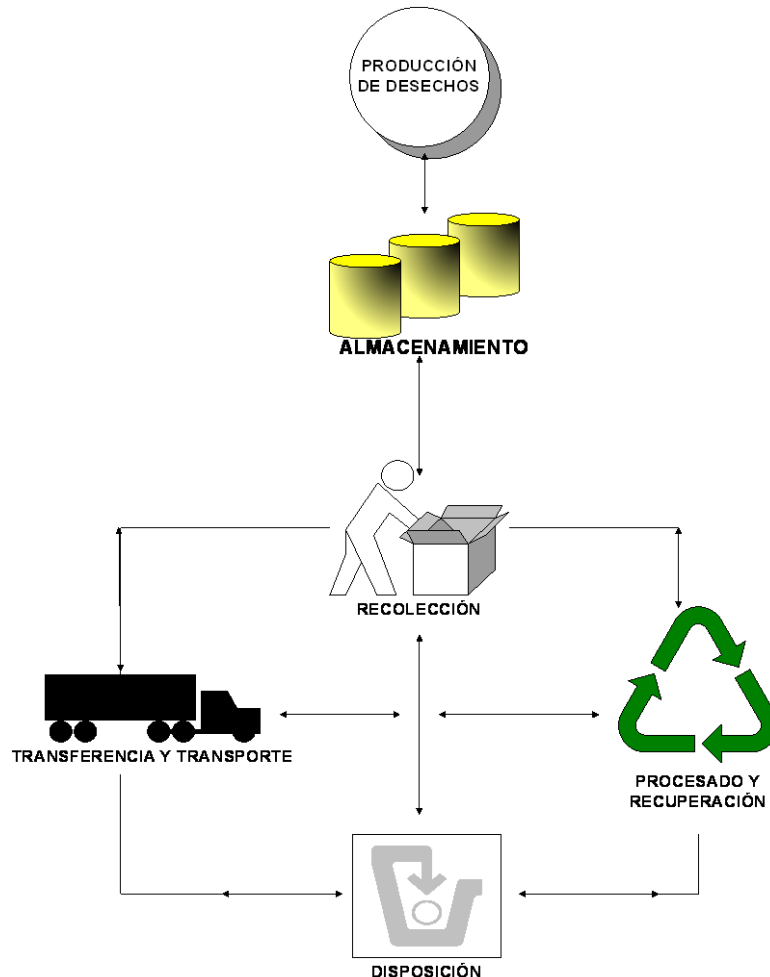


Figura 2.1. Diagrama simplificado que muestra las interrelaciones de los grupos funcionales en un sistema de manejo de desechos sólidos.

2.3.1 PRODUCCIÓN DE DESECHOS

La producción de desechos comprende aquellas actividades en las cuales se identifican los materiales que ya no son útiles y son desechados o recogidos para su disposición. Lo que es importante en la producción de desechos es que hay una etapa de identificación y que esta etapa varía con cada individuo. Una organización usualmente se vuelve generadora cuando su proceso genera un desecho, o cuando lo derrama o cuando no utiliza más un material.

Debido a que la producción de desechos hoy en día es una actividad no muy controlable, frecuentemente no es considerada como un grupo funcional. En el futuro, probablemente se ejercerá un mayor control sobre la producción de desechos, desde el punto de vista económico, el mejor lugar para sortear materiales de desecho con propósitos de recuperación es en la fuente de producción.

2.3.2 ALMACENAMIENTO IN SITU

Aunque los desechos sólidos industriales pueden constituir sólo el “5 por ciento de los desechos sólidos de la nación”,⁵ su manejo exige un gran esfuerzo continuo. La razón es que son desechos heterogéneos visibles que son producidos, en su mayor parte, donde la gente vive y en áreas con espacio limitado para el almacenamiento. Estos desechos no se pueden tolerar largo tiempo, basándose en premisas personales debido a su peligrosidad, y deben ser trasladados en un tiempo razonable, generalmente alrededor de 8 días.

El costo de proveer almacenamiento para desechos sólidos en la fuente normalmente es aportado por el dueño de la administración de propiedades comerciales o industriales. El almacenamiento in situ es de importancia primordial debido a consideraciones estéticas, de salud pública y económicas involucradas. Frecuentemente, se ven recipientes de aspecto desagradable y lugares de almacenamiento al aire libre, ambos son inaceptables, en áreas residenciales, comerciales e industriales.

El almacenamiento de los desechos sólidos se debe realizar basado en el principio de asegurar las condiciones de protección ambiental y de la salud humana, así como el cumplimiento de lo establecido en las normas y las buenas prácticas.

El almacenamiento se produce en tres etapas:

- Almacenamiento primario: este se ejecuta en el lugar de generación. Las particularidades del mismo está en función de la actividad que se realiza en el área en particular. Se describe el tipo de envase que se debe utilizar (cestos tapados de diferentes capacidades, tipo de material,

⁵ EMASEO, La Transformación en el manejo de los Residuos Sólidos Urbanos en Quito; 2004.

desechables o no como bolsa plásticas o de papel) las condiciones higiénico - sanitarias en sentido general y las medios de protección y seguridad. Se describe los procedimientos de recogida y frecuencia por los operadores o colectores.

- Almacenamiento secundario: este se ejecuta en locales o áreas específicas dentro de la entidad previo al almacenamiento final. Se describe el área de almacenamiento, el tipo de envase o contenedor que se debe utilizar, las condiciones higiénico – sanitarias (climatización, refrigeración, ventilación. Iluminación), condiciones de seguridad, de PCI, delimitación, señalización, suministro de agua, drenajes y los medios de protección. Los sitios serán diseñados para facilitar la separación y la recuperación de materiales con potencial reciclable si procede Se describen las operaciones de segregación en caso que sea en esta área donde se realiza esta actividad.
- Almacenamiento terciario o final: este se aplica en un lugar destinado para este fin en la instalación previo a la transportación hacia el tratamiento o destino final. Las particularidades del mismo está en función de la actividad que realiza la instalación. Se describe el área de almacenamiento final, los tipos de envases que se deben utilizar, ubicación, las condiciones higiénico – sanitarias, condiciones de seguridad, de PCI, señalización, delimitación, suministro de agua, drenajes, escorrentía, vías de acceso y los medios de protección. Los sitios serán diseñados para facilitar la separación y la recuperación de materiales con potencial reciclable si procede. Contar con acciones de mantenimiento y conservación.

2.3.3 RECOLECCIÓN

El grupo funcional de recolección incluye no solamente la recogida de los desechos sólidos, sino también el traslado de los desechos después de la recolección hasta el lugar donde es vaciado el vehículo de recolección. Este lugar puede ser una estación de transferencia, o un sitio de disposición (relleno). En una ciudad pequeña donde los sitios de disposición final están cerca, el traslado de los desechos no es un problema. Sin embargo, en una

ciudad grande donde el traslado al sitio de disposición se encuentra a una distancia de 10Km o más, el traslado puede tener implicaciones económicas serias.

La solución al problema de traslado para grandes distancias se complica con el hecho de que los vehículos son adaptados para el traslado de largas distancias y no son adecuados económicamente para la recolección industria por industria. Por lo que en la mayoría de los casos, se necesitan instalaciones y equipos adicionales de transferencia y transporte.

La recolección alcanza cerca del “80 por ciento del costo anual del manejo de los desechos sólidos”.⁶ La recolección es proporcionada bajo varios sistemas administrativos, variando desde los servicios municipales hasta servicios de franquicia prestados bajo diversas formas de contratos. En varios lugares del país, grandes compañías de disposición de desechos sólidos, con contratos en muchas ciudades, poseen y operan vehículos de recolección y sitios de disposición en rellenos.

Los servicios de recolección para industrias varían ampliamente. Algunos desechos industriales son manejados como desechos residenciales; algunas compañías tienen sitios de disposición en sus propiedades y usan cintas transportadoras o agua en el transporte. La última se usa para desechos minerales y agrícolas en muchos casos. Cada industria exige una solución individual a sus problemas de desechos.

2.3.4 TRANSFERENCIA Y TRANSPORTE

El grupo funcional de transferencia y transporte comprende dos etapas:

- La transferencia de los desechos desde un vehículo de recolección pequeño a un equipo de transporte más grande.
- El transporte subsiguiente de los desechos, generalmente, sobre grandes distancias, al sitio de disposición.

La transferencia generalmente tiene lugar en una estación de transferencia. Aunque el transporte en vehículos de motor es más común, también se usan ferrocarriles o barcazas para transportar desechos. El transportista puede

⁶ EMASEO-PUCE, Seminario Internacional de Desechos Sólidos; 2004.

transformarse en generador si el vehículo que transporta derrama su carga, o si cruza los límites internacionales (en el caso de residuos peligrosos), o si acumula lodos u otros residuos del material transportado.

2.3.5 PROCESADO Y RECUPERACIÓN (TRATAMIENTO)

El grupo funcional de procesado y recuperación incluye todas las técnicas, equipo e instalaciones usadas para mejorar la eficiencia de los otros grupos funcionales y para recuperar materiales utilizables, conversión de productos o energía de desechos sólidos. El tratamiento incluye la selección y aplicación de tecnologías apropiadas para el control y tratamiento de los residuos peligrosos o de sus constituyentes. Respecto a la disposición la alternativa comúnmente más utilizada es el relleno sanitario; aunque al tratar con desechos sólidos producidos en la refinación de petróleo podrían existir otras alternativas mucho más idóneas debido a las características de los desechos.

En la recuperación de materiales, las operaciones de separación han sido ideadas para recuperar recursos valiosos de los desechos sólidos mezclados, entregados a las estaciones de transferencia o plantas de procesado de desechos sólidos. Estas operaciones incluyen reducción de tamaño y separación de densidad mediante clasificadores de aire. Una posterior separación puede incluir dispositivos magnéticos para extraer hierro, separadores de corriente en contraflujo para aluminio, y mallas para vidrio. También pueden ser reusados: la flotación, separación por inercia, y otras operaciones unitarias de la industria metalúrgica. La selección de cualquier proceso de recuperación es una función económica, costo de separación versus valor de los materiales recuperados o productos. Debido a que los precios fluctúan ampliamente, en cualquier análisis económico se deben considerar estimativos de los precios máximos y mínimos.

Actualmente, muchas de las operaciones y procesos unitarios para desechos sólidos están experimentando un desarrollo extensivo por parte de los fabricantes de equipo y por la EPA, a través de sus programas de investigación, desarrollo y demostración. Muchos de los métodos más antiguos se han encontrado insatisfactorios desde uno o más puntos de vista, salud pública, económicos, problemas ambientales, lo mismo que el agotamiento de

terrenos disponibles y las subsiguientes restricciones colocadas sobre el uso de terrenos por las autoridades de planificación.

El tratamiento es la modificación de las características físicas, químicas o biológicas de los desechos sólidos, con el objeto de reducir su nocividad, controlar su agresividad ambiental y facilitar su gestión.

Existen diferentes tipos de tratamiento de los desechos sólidos, a continuación se mencionan algunos de los más utilizados:

- **Incineración:** Proceso de reducir a cenizas los desechos sólidos y otros residuos, reduciendo el volumen original de la fracción combustible de los residuos sólidos del 50 – 80%.
- **Pirólisis:** Descomposición de los desechos por la acción del calor.
- **Reciclaje:** Es un proceso mediante el cual ciertos materiales de los desechos sólidos se separan, recogen, clasifican y almacenan para reincorporarlos como materia prima al ciclo productivo. Es decir, proceso que sufre un material o producto para ser reincorporado a un ciclo de producción o de consumo, ya sea el mismo en que fue generado u otro diferente.
- **Recuperación:** Actividad relacionada con la obtención de materiales secundarios, bien sea por separación, desempaquetamiento, recogida o cualquier otra forma de retirar de los residuos sólidos algunos de sus componentes para su reciclaje o reuso.
- **Reuso:** Es el retorno de un bien o producto a la corriente económica para ser utilizado en forma exactamente igual a como se utilizó antes, sin cambio alguno en su forma o naturaleza.
- **Recolección Selectiva:** Acción de clasificar, segregar y presentar segregadamente para su posterior utilización.
- **Reutilización:** Capacidad de un producto o envase para ser usado en más de una ocasión, de la misma forma y para el mismo propósito para el cual fue fabricado.
- **Relleno Sanitario:** Instalación destinada a la disposición sanitaria y ambientalmente segura de los residuos sólidos en la superficie o bajo tierra, basados en los principios y métodos de la ingeniería sanitaria y ambiental. Es la técnica de eliminación final de los desechos sólidos en el suelo, que

no causa molestia ni peligro para la salud y seguridad pública, tampoco perjudica el ambiente durante su operación ni después de terminado el mismo. Es el sitio que es proyectado, construido y operado mediante la aplicación de técnicas de ingeniería sanitaria y ambiental, en donde se depositan, esparcen, acomodan, compactan y cubren con tierra, diariamente los desechos sólidos, contando con drenaje de gases y líquidos percolados o lixiviados.

- **Relleno Sanitario Manual:** Es aquél en el que sólo se requiere equipo pesado para la adecuación del sitio y la construcción de vías internas, así como para la excavación de zanjas, la extracción y el acarreo y distribución del material de cobertura. Todos los demás trabajos, tales como construcción de drenajes para lixiviados y chimeneas para gases, así como el proceso de acomodo, cobertura, compactación y otras obras conexas, pueden realizarse manualmente.
- **Relleno Sanitario Mecanizado:** Es aquél en que se requiere de equipo pesado que labore permanentemente en el sitio y de esta forma realizar todas las actividades señaladas en el relleno sanitario manual, así como de estrictos mecanismos de control y vigilancia de su funcionamiento.

2.3.6 DISPOSICIÓN

El último grupo funcional en el sistema de manejo de desechos sólidos es la disposición. La disposición es el último destino de todos los desechos sólidos, ya sean desechos residenciales recolectados y transportados directamente a un relleno, desechos semisólidos (lodos) de plantas de tratamientos municipales o industriales, residuo del incinerador, abono, u otras sustancias de diferentes plantas de procesado de desechos sólidos que ya no son útiles a la sociedad.

Entonces, la planificación del uso de la tierra se convierte en un determinante primordial en la selección y operación de rellenos sanitarios. En las ciudades esto involucra a las comisiones de planificación de la ciudad u otra autoridad de planificación regional. Se exigen declaraciones de impacto ambiental para todos los nuevos sitios de relleno con el fin de asegurar el cumplimiento de las normas de salud pública, estética, y usos futuros de la tierra. Un relleno

moderno no es un botadero a campo abierto; es un método de disposición de los desechos sólidos que no crea molestias o riesgos para la salud, tales como criaderos de ratas e insectos y la contaminación del agua subterránea, o la seguridad pública.

Se deben seguir los principios de ingeniería para confinar los desechos al área más pequeña posible, reducirlos al mínimo volumen práctico mediante compactación en el sitio, y cubrirlos después de cada día de operación para reducir la exposición a las plagas. Después de que toda el área es llenada, se debe colocar una cubierta de tierra de 60 centímetros mínimo de espesor, y agregar más tierra, si se producen asentamientos diferenciales durante la descomposición de la materia orgánica subyacente. Esta descomposición es anaerobia y en consecuencia tiene una tasa de reacción muy lenta. Uno de los peligros de la biodegradación es la producción de gas metano. Aunque se forma a una velocidad lenta, se puede acumular debajo de edificaciones y en consecuencia se debe ventilar a la atmósfera. En ciudades con rellenos grandes se están haciendo intentos para recoger el metano y producir energía.

2.3.7 OTROS ASPECTOS PRÁCTICOS ASOCIADOS CON SISTEMAS DE MANEJO DE DESECHOS SÓLIDOS

Además de los seis grupos funcionales que constituyen los sistemas de manejo de desechos sólidos industriales, han sido identificados y discutidos otros aspectos prácticos asociados con sistemas de manejo de desechos sólidos. Esto incluye:

- Financiamiento.
- Operaciones.
- Manejo de equipo.
- Personal.
- Informes, contabilidad de costos y presupuestos.
- Administración de contratos.
- Ordenanzas y lineamientos.
- Comunicaciones públicas.

2.3.8 RIESGOS ASOCIADOS AL MANEJO DE LOS DESECHOS SÓLIDOS

Gestión negativa:

- Enfermedades provocadas por vectores sanitarios: Existen varios vectores sanitarios de gran importancia epidemiológica cuya aparición y permanencia pueden estar relacionados en forma directa con la ejecución inadecuada de alguna de las etapas en el manejo de los residuos sólidos.
- Contaminación de aguas: La disposición no apropiada de residuos puede provocar la contaminación de los cursos superficiales y subterráneos de agua, además de contaminar la población que habita en estos medios.
- Contaminación atmosférica: El material particulado, el ruido y el olor representan las principales causas de contaminación atmosférica
- Contaminación de suelos: Los suelos pueden ser alterados en su estructura debido a la acción de los líquidos percolados dejándolos inutilizados por largos periodos de tiempo
- Problemas paisajísticos y riesgo: La acumulación en lugares no aptos de residuos trae consigo un impacto paisajístico negativo, además de tener en algunos casos asociados un importante riesgo ambiental, pudiéndose producir accidentes, tales como explosiones o derrumbes.
- Salud mental: Existen numerosos estudios que confirman el deterioro anímico y mental de las personas directamente afectadas.

Gestión positiva:

- Conservación de recursos: El manejo apropiado de las materias primas, la minimización de residuos, las políticas de reciclaje y el manejo apropiado de residuos traen como uno de sus beneficios principales la conservación y en algunos casos la recuperación de los recursos naturales. Por ejemplo puede recuperarse el material orgánico a través del compostaje.
- Reciclaje: Un beneficio directo de una buena gestión lo constituye la recuperación de recursos a través del reciclaje o reutilización de residuos que pueden ser convertidos en materia prima o ser utilizados nuevamente.

- Recuperación de áreas: Otros de los beneficios de disponer los residuos en forma apropiada un relleno sanitario es la opción de recuperar áreas de escaso valor y convertirlas en parques y áreas de esparcimiento, acompañado de una posibilidad real de obtención de beneficios energéticos (biogás).

2.4 PLANIFICACIÓN DEL MANEJO DE LOS DESECHOS SÓLIDOS INDUSTRIALES

La planificación del manejo de los desechos sólidos industriales se puede definir como el proceso mediante el cual se desarrollan alternativas y programas factibles para resolver problemas de desechos sólidos. En la mayoría de los casos se deben presentar programas y planes alternativos al público y a los ejecutivos para su consideración, selección, aceptación y ejecución. Actualmente las interrelaciones entre los factores técnicos, económicos, ambientales, sociales y políticos involucrados en estos problemas, no están bien definidos.

2.4.1 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

- Al discutir la planificación en el campo del manejo de los desechos sólidos, los términos: grupo funcional, sistemas, programas, alternativas y planes son usados frecuentemente.
- Grupo Funcional.- se usa para describir varias actividades asociadas con el manejo de desechos sólidos desde el punto de producción hasta la disposición final. En general, un grupo funcional representa una actividad física.
- Sistema.- el ensamblaje de uno o más de los grupos funcionales para lograr un objetivo, se conoce como un sistema de manejo de desechos sólidos.
- Programa.- el término programa comprende todas las actividades asociadas con el desarrollo de una solución a un problema dentro de un grupo funcional de un sistema de manejo de desechos sólidos. Programas

que tratan con problemas específicos relacionados a un grupo funcional pueden o no incluir temas de política y objetivos.

- Alternativas.- el término alternativa se usa para describir varias agrupaciones de programas como se presentan en los planes con el propósito de hacer comparaciones. Mediante la comparación de alternativas compuestas de programas individuales, es posible para los ejecutivos evaluar los impactos y la selección de una alternativa dada. Con frecuencia riesgos involucrados en la alternativa seleccionada será integrada por programas tomados de una o más alternativas propuestas.
- Planes.- los planes de manejo de desechos sólidos se desarrollan para definir y establecer objetivos y políticas. Se pueden desarrollar planes para tratar con problemas a cualquier nivel subregional o regional, estatal o federal. Normalmente, un plan local comprenderá uno o más grupos funcionales y uno o más programas de áreas.

2.4.2 MARCO PARA LAS ACTIVIDADES DE PLANEACIÓN

Las actividades de planeación en el campo del manejo de desechos sólidos son generalmente asumidas en respuesta para el reconocimiento de ciertas necesidades de la comunidad. El ciclo de solución de problemas de la comunidad y la interrelación de planeación se encuentran en la figura 2.2 a continuación:

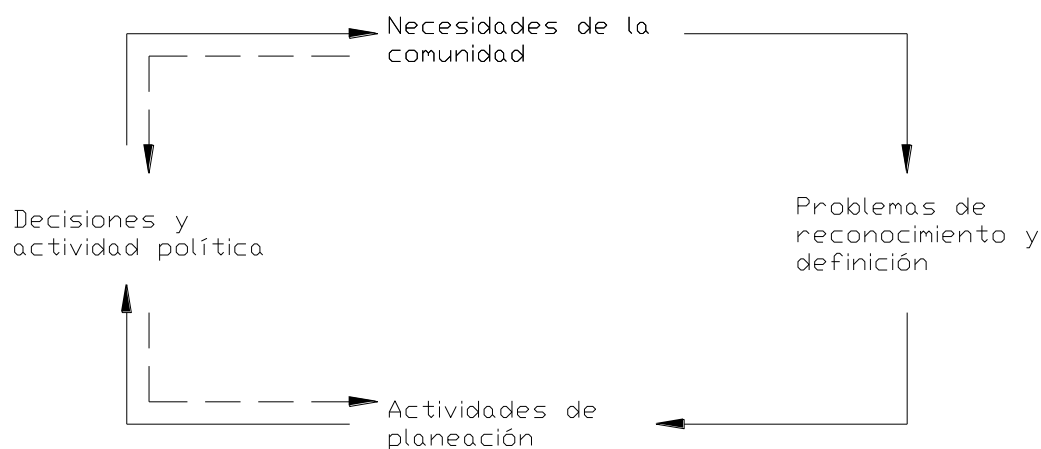


Figura 2.2. Ciclo de solución de problemas de la comunidad.

Las actividades de planeación comienzan una vez que las necesidades de la comunidad han sido articuladas y el problema ha sido reconocido. El reconocimiento del problema es muy importante porque si hay planeación significativa relacionada con las necesidades de la comunidad, resultará en un cumplimiento de los objetivos establecidos. De otra manera el proceso de planeación se vuelve en un self-service y además posee un bajo valor. Esto es responsabilidad del planeador, sin embargo, para llamar la atención del que toma las decisiones todas las áreas problemas deben ser identificadas durante el proceso de planeación.

2.4.3 PERIODOS DE TIEMPO DE PLANEACIÓN

La planeación en el manejo de desechos sólidos puede ser a corto plazo o a largo plazo. La precisión del tiempo depende de cada proyecto, aunque de 5 a 7 años es lo máximo para un corto plazo; para un largo plazo este periodo de tiempo se puede alargar dependiendo de la planeación de cada proyecto.

Una dificultad que se viene acarreado en la selección apropiada de periodos de tiempo para la planeación es que mientras los términos cortos tienen una limitación de 5 a 7 años, el periodo para pagar los equipos y las facilidades es muy elevado, usualmente pasa los 20 años, como por ejemplo con los incineradores que son usados para la reducción de volumen de los desechos. Cuando son evaluadas opciones para recuperar energía, los términos largos para pagar son requeridos. La información de los términos pequeños esta disponible en la vida útil de ciertas facilidades. Esta limitación puede tener serias implicaciones en el aspecto económico de las opciones de energía. En situaciones donde la inseguridad es alta y los periodos a largo plazo para pagar son requeridos, el mejor acercamiento es descubrir múltiples análisis basados en estimaciones de promedio y bajas condiciones optimistas. Esto dará al que tome la decisión un mejor entendimiento de los riesgos que envuelven al proyecto.

2.4.4 NIVELES DE PLANEACIÓN

Actividades de planeación en el campo del manejo de desechos sólidos pueden ser asociadas con 3 niveles de planeación jurisdiccional:

- Local.
- Subregional o regional.
- Estatal o federal.

Las características de estos 3 niveles están identificadas en la siguiente Tabla 2.5.

Tabla 2.5. Niveles de planeación en el manejo de desechos sólidos y sus características.

Nivel de planeación	Agencias que intervienen	Características
Local	Ciudades	Normalmente una sola agencia conduce el estudio de planeación para resolver problemas localizados.
	Condados	
	Distritos especiales	
Subregional o regional	Ciudades	Algunas comunidades se unen para formar una eficiente planeación y actividad operacional.
	Condados	
Estatal o federal	Ciudades	Algunas ciudades, condados y estados pueden formar una unidad de planeación. Típicamente, la preocupación será acerca del uso de materiales de origen natural, procesos de reutilización, y la disposición de residuos inservibles. Esfuerzos de planeación casi siempre resultan en proyectos de demostración.
	Condados	
	Estados	

2.4.5 TIPOS DE PLANES

En la mayoría de casos, los tipos de planes que son descubiertos en el campo del manejo de desechos sólidos corresponden un esfuerzo y alcance para niveles de planeación previamente identificados. Áreas típicas de programas para varios grupos funcionales son reportados en la tabla 2.6.

Tabla 2.6. Aspectos que se consideran en los varios grupos funcionales.

<i>Tipo de plan</i>	<i>Grupos funcionales</i>	<i>Aspectos que se consideran dentro de los programas</i>
Local	Almacenamiento insitu	Tamaño del container, localización, y frecuencia de recolección.
	Recolección	Vehículos recolectores, tamaño del equipo de trabajo, y rutas.
	Transferencia	Mapa de la estación de transferencia, tipo de vehículos de transporte, y rutas en autopistas.
	Procesamiento y reutilización	
	Disposición	Características del suelo, requerimientos del equipo, excavación y ciclos de cobertura.
Regional o subregional	Almacenamiento insitu	Estándares y criterios para uso de containers en comunidades.

**Tabla 2.6. Aspectos que se consideran en los varios grupos funcionales.
(Continuación)**

<i>Tipo de plan</i>	<i>Grupos funcionales</i>	<i>Aspectos que se consideran dentro de los programas</i>
	Recolección	Criterios operativos y niveles de costos para múltiples tipos de fuerza de trabajo y sistemas de equipos.
Regional o subregional	Transferencia	Estación y tamaño de tractores, beneficio potencial de procesos de larga escala combinados con transferencia.
	Procesamiento y reutilización	Equipo de procesamiento y localización, búsqueda de mercados disponibles para recuperar recursos.
	Disposición	Detalles del sitio, responsabilidad financiera entre comunidades, estándares generales para equipos de operación y de trabajo.
Estatual o federal	Generación	Presión legislativa sobre industrias manufactureras que usan exceso de empaquetamiento, impuestos sobre containers líquidos botados al ambiente.
	Almacenamiento in situ	Ídem que en tipo regional.
	Recolección	Ídem que en tipo regional.

Tabla 2.6. Áreas típicas de programas para varios grupos funcionales. (Continuación)

<i>Tipo de plan</i>	<i>Grupos funcionales</i>	<i>Aspectos que se consideran dentro de los programas</i>
Estatual o federal	Transferencia	Evaluar el potencial de recuperar recursos en la estación de transferencia, otros detalles ídem que en tipo regional.
	Procesamiento y reutilización	Búsqueda, facilidades del plan piloto, incentivos de transportación, multas en impuestos, etc., definición general de materiales escasos y recursos prioritarios, especificaciones de compra que fomenten la recuperación de recursos.
	Disposición	Ídem que en tipo regional.

Fuente: Tchobanoglous George, Solid Waste Management; 1998

En el tipo local los planes de manejo usualmente incluyen uno o más grupos funcionales del sistema de manejo de desechos sólidos en por lo menos una área. Los del tipo regional o subregional también contienen múltiple grupos funcionales y programas, pero los esfuerzos están concentrados en usar más eficientemente. En el tipo estatal o federal involucran manejo total de los recursos, incluyendo el grupo funcional de generación de desechos.

2.4.6 PASOS PARA LA PLANEACIÓN

En muchos casos, el planeador y la persona que toma las decisiones no tienen una oportunidad de estudiar todo el sistema de manejo de desechos sólidos y

tener un total conocimiento de la organización donde se desarrollara el proyecto bajo todas las condiciones. Tiempo y limitaciones económicas resultan de necesidades sociales y políticas que llevan a tomar decisiones basadas en poca o ninguna información. Para asegurar un buen plan de manejo de desechos sólidos, donde el tiempo y los recursos económicos sean bien distribuidos damos a continuación un procedimiento recomendado paso a paso.

Paso 1.- Definición y especificación del problema.

El primer paso y más crítico de cualquier estudio de planeación en el manejo de desechos sólidos es obtener una definición clara del problema y las especificaciones correspondientes de la gente responsable de tomar las decisiones en el manejo de desechos sólidos. Las definiciones del problema y las especificaciones usualmente se derivan de las preocupaciones de la gente que trabaja con los mismos.

A menudo se presentan dificultades porque los sistemas de manejo de desechos sólidos no son bien entendidos en la mayoría de niveles de la toma de decisiones. Consecuentemente el planificador tendría que redefinir el problema que originalmente fue presentado por alguien que tomo una decisión previa.

Paso 2.- Inventario y acumulación de datos.

En este paso se realiza un inventario de todos los factores pertinentes correspondientes a la organización industrial y se recolectan tantos datos como sean necesarios para satisfacer las especificaciones del problema. El principal propósito del inventario es definir los sistemas de desechos sólidos existentes de forma tan completa y exacta como sea posible, así como recolectar información básica. Este es un paso importante en la planeación porque todas las recomendaciones subsecuentes para tomar un plan de acción están basadas en los hallazgos realizados en este paso. Por consiguiente, es esencial que a cualquier nivel de la planeación todos los grupos funcionales que conforman el sistema de gestión de desecho sólidos.

Paso 3.- Evaluación y alternativas de desarrollo.

Este paso involucra la evaluación detallada y el análisis de los datos acumulados en el paso anterior. Es durante este paso que los programas del plan comienzan a conformarse. En algunos casos podría ser necesario

recolectar datos o información adicional. Sin embargo, antes de que se conformen los programas es importante revisar la definición del problema original y las especificaciones. A menudo se encontrara que algunas revisiones deberán ser hechas debido a la información adicional proporcionada que se encontró en el inventario.

Puesto que un problema puede tener mas de una solución, es beneficioso para fines de la toma de decisiones desarrollar alternativas que comprendan uno o más programas. Si son prácticas estas alternativas deben estar documentadas para la presentación en el plan. Un plan simple podría tener uno o dos programas. Un plan más complejo incluye más de los grupos funcionales, y sus alternativas podrían incluir numerosos programas. En cualquiera de los casos tanto las actividades administrativas o de ingeniería deben ser evaluadas.

Al desarrollar las alternativas, es de especial importancia que todos grupos funcionales sean coordinados para asegurar la continuidad del sistema. (Desde el almacenamiento in-situ pasando por el procesamiento hasta la disposición final). Al evaluar los programas coordinados, el planeador es capaz de recomendar alternativas viables.

Paso 4.- Programas y selección del plan.

En este paso un número limitado de alternativas son seleccionadas por el planeador para ser incluidas en el plan. Las alternativas son revisadas por el planeador, el que toma las decisiones y miembros del público. La lógica de los programas individuales que conforman las alternativas es revisado y los programas son cambiados tantas veces como sean necesarios para incluir comentarios de revisión. El control administrativo de todos los programas es evaluado e identificado durante este paso. Esto es importante porque el manejo de desechos sólidos no funcionara correctamente sin un control responsable. Desde este punto el planeador debe desarrollar un conocimiento exhaustivo de la estructura social y política de la comunidad.

La acción final en este paso es la selección de un grupo de programas preferidos para que conformen el plan. Los programas pueden ser seleccionados de una sola alternativa o de varias alternativas. La selección final será hecha por personas encargadas de la toma de decisiones.

Paso 5.- Desarrollo de un itinerario(s) de la implementación.

Cuando han ocurrido fallas en la planificación la carencia de un itinerario de planificación bien definido, aceptable a instancias administrativas y de gerencia ha sido el principal factor. El grado de documentación en cualquier itinerario de planificación depende en el tipo de programas desarrollados en el plan. De ser posible, el grado de documentación que será requerido para la implementación deberá ser establecido por el planeador y el que toma las decisiones durante la etapa de especificación del problema del plan de desarrollo (paso 1) del plan de desarrollo.

2.5 LEGISLACIÓN

El ordenamiento jurídico relacionado con el manejo de desechos sólidos, está conformado por un conjunto de normas que debido a su ámbito de aplicación se dividen en dos niveles:

1. Legislación Nacional;
2. Legislación Internacional.

2.5.1 LEGISLACIÓN NACIONAL

Dentro de la Legislación Nacional se encuentran las siguientes:

- Constitución Política de la República del Ecuador
- Código de la Salud
- Ley de Gestión Ambiental
- Ley Orgánica de Régimen Municipal
- Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental
- Código de Policía Marítima
- Ley de Aguas
- Ley de la Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica
- Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria
- Reglamento de Seguridad Radiológica
- Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental en lo relativo al Recurso Agua

- Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental en lo referente al Recurso Suelo
- Políticas Básicas Ambientales del Ecuador
- Ley de Minería
- Reglamento de Operaciones Hidrocarburíferas
- Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador

A pesar de que el ordenamiento jurídico ecuatoriano cuenta con suficientes leyes y reglamentos en la materia; esta inexistencia de un régimen legal propio trae como consecuencia una duplicidad y confusión de competencias y funciones entre los actores, lo cual genera una seria imprecisión en virtud de la falta de definición del ámbito y de los límites de acción al momento de ponerlas en ejecución.

Existe una utilización equívoca de los términos “residuos” y “desechos”, ya que se los considera como sinónimos, sin tomar en cuenta los procesos y funciones diferentes que de su manejo se derivan.

Debido a la naturaleza del proyecto, y tomando en cuenta las características de la Refinería Estatal de Esmeraldas y su complejo industrial se hará mención principalmente al Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria y al Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador (Decreto 1215).

2.5.1.1 Texto Unificado De Legislación Ambiental Secundaria (TULAS)

El mencionado tiene como objeto establecer las políticas básicas ambientales del Ecuador considerando como autoridad ambiental al Ministerio del Medio Ambiente.

Está compuesto de 9 libros, cada uno de los cuáles se refiere a aspectos diversos que conciernen a la preservación, protección y correcta gestión de los recursos naturales y el Medio Ambiente.

Dentro del Libro VI, denominado “de la Calidad Ambiental”, se encuentran dos reglamentos necesarios que deben ser tomados en cuenta como marco legal para el desarrollo del Sistema de Gestión de Desechos Sólidos en la REE;

estos son el Título II “Políticas Nacionales de Residuos Sólidos” y el Título V “Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación por Desechos Peligrosos”.

Dentro de los aspectos relevantes de ambas normativas, se extrae lo siguiente:

Políticas Nacionales de Residuos Sólidos:

“Art. 30.- El Estado Ecuatoriano declara como prioridad nacional la gestión integral de los residuos sólidos en el país, como una responsabilidad compartida por toda la sociedad, que contribuya al desarrollo sustentable a través de un conjunto de políticas intersectoriales nacionales”⁷ Estas políticas son definidas en diferentes ámbitos:

- Salud y Ambiente
- Social
- Económico – Financiero
- Institucional
- Técnico
- Legal

Por ser de mayor interés al proyecto en cuestión se hará mención al artículo que define el ámbito técnico:

“Art. 35.- AMBITO TÉCNICO.- Se establece como políticas de la gestión de residuos sólidos en el ámbito técnico las siguientes:

- Garantía de la aplicación de los principios de minimización, reuso, clasificación, transformación y reciclaje de los residuos sólidos.
- Manejo integral de todas las clases de residuos sólidos en su ciclo de vida.
- Garantía de acceso a los servicios de aseo, a través del incremento de su cobertura y calidad.

⁷ Ministerio del Ambiente, Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria; Ecuador 2002.

- Fomento a la investigación y uso de tecnologías en el sector, que minimicen los impactos al ambiente y la salud, mediante el principio precautorio.”⁸

Se observa que el manejo integral de desechos y los principios básicos de minimización, reuso, clasificación, transformación y reciclaje de los mismos; son políticas internacionales elementales que no pueden ser dejadas de lado, y que por tanto son acogidas como propias en todos los países.

Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación por Desechos Peligrosos:

Este reglamento está compuesto de cinco títulos:

- Disposiciones Generales
- Autoridades Competentes
- Fases de la Gestión de Desechos Peligrosos
- De los mecanismos de prevención y control, y
- De las Infracciones y sanciones

Cada uno posee varias secciones y capítulos; principalmente se encuentran definidas directrices como el ámbito de aplicación, las autoridades competentes, prohibiciones generales, el registro de los desechos peligrosos, sanciones etc.

Los artículos del Título III correspondiente a “Fases de la Gestión de Desechos Peligrosos” indican las normas a ser consideradas para que la Generación, Recolección, Transporte, Tratamientos que se les darán a los desechos, el Reciclaje, y la Disposición Final; sean realizadas con un criterio técnico elemental, a fin de causar el menor daño posible al entorno.

Se hará mención a los artículos mencionados posteriormente cuando sea necesario realizar alguna consideración durante la determinación de los tratamientos, así como el transporte y la Disposición Final de los desechos sólidos en la Refinería Estatal de Esmeraldas.

⁸ Ministerio del Ambiente, Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria; Ecuador 2002.

2.5.1.2 Reglamento ambiental para las operaciones hidrocarburíferas en el Ecuador

En agosto de 1998 el presidente Gustavo Noboa oficializó el Decreto 1215, denominado Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador. La Carta Magna dispone que el Estado protegerá el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice un desarrollo sustentable, por lo que declara de interés público y que se regulará conforme a la Ley la preservación del medio ambiente. En cuanto al manejo de desechos sólidos los siguientes artículos son los relacionados con el tema.

“ART. 28.– Manejo de desechos en general:

a) Reducción de desechos en la fuente.- Los Planes de Manejo Ambiental deberán incorporar específicamente las políticas y prácticas para la reducción en la fuente de cada una de las categorías de los desechos descritos en la Tabla No. 8 del Anexo 2 de este Reglamento;

b) Clasificación.- Los desechos constantes en la Tabla No. 8 del Anexo 2 de este Reglamento serán clasificados, tratados, reciclados o reutilizados y dispuestos de acuerdo a normas ambientales y conforme al Plan de Manejo Ambiental;

c) Disposición.- Se prohíbe la disposición no controlada de cualquier tipo de desecho. Los sitios de disposición de desechos, tales como rellenos sanitarios y piscinas de disposición final, contarán con un sistema adecuado de canales para el control de lixiviados, así como tratamiento y monitoreo de éstos previo a su descarga; y,

d) Registros y documentación.- En todas las instalaciones y actividades hidrocarburíferas se llevarán registros sobre la clasificación de desechos, volúmenes y/o cantidades generados y la forma de tratamiento y/o disposición para cada clase de desechos conforme a la Tabla No. 8 del Anexo 2 de este Reglamento. Un resumen de dicha documentación se presentará en el Informe Anual Ambiental.”⁹

⁹ Reglamento ambiental para las operaciones hidrocarburíferas en el Ecuador.

“ART. 31.– Manejo y tratamiento de desechos sólidos.– Las plataformas e instalaciones deben ser mantenidas libres de desechos sólidos. Ningún tipo de desechos, material de suelo o vegetal será depositado en cuerpos de agua o drenajes naturales. Las operadoras presentarán en el Plan de Manejo Ambiental el sistema de clasificación, tratamiento, reciclaje y/o reuso de los desechos sólidos así como las tecnologías para la disposición final, inclusive los acuerdos con municipios, empresas especializadas u otras operadoras de basureros o rellenos sanitarios, cuando fuera el caso:

a) Desechos inorgánicos.- Los desechos no biodegradables provenientes de la actividad, deberán ser clasificados y evacuados de las áreas de operaciones para su tratamiento, reciclaje y/o disposición, o enterrados en fosas debidamente impermeabilizadas, como se describe específicamente en el Plan de Manejo Ambiental;

b) Desechos orgánicos.- Los desechos biodegradables serán procesados mediante tecnologías ambientalmente aceptadas de acuerdo con lo aprobado en el Plan de Manejo Ambiental respectivo;

d) Incineración.- Para la incineración de desechos sólidos se presentarán en el Plan de Manejo Ambiental la lista y las características principales de los desechos, los métodos y características técnicas del incinerador y del proceso, así como el tratamiento y la disposición final de los residuos. Las emisiones atmosféricas de dicho proceso se deberán controlar y monitorear a fin de cumplir con los parámetros y valores máximos referenciales.”¹⁰

“ART. 66.– Manejo y tratamiento de descargas, emisiones y desechos.– Toda instalación de industrialización deberá disponer de sistemas cerrados de tratamiento de efluentes, control de emisiones atmosféricas y desechos sólidos resultantes de los diferentes procesos, los mismos que deberán cumplir con lo establecido en los artículos 28, 29, 30, 31 y 32 de este Reglamento. Se priorizará el uso de tecnologías limpias. Además, se observarán las siguientes disposiciones:

¹⁰ Reglamento ambiental para las operaciones hidrocarburíferas en el Ecuador.

b) Manejo de desechos sólidos.- Los residuos sólidos especiales, domésticos e industriales constantes en la Tabla No. 8 del Anexo 2 de este Reglamento serán tratados y manejados de acuerdo a las siguientes disposiciones:

b.1) La selección del método óptimo de tratamiento y manejo de los residuos sólidos se lo hará considerando los siguientes parámetros y sobre la base de la Tabla No. 8 del Anexo 2 de este Reglamento:

- Tipo de residuo.
- Peligrosidad del residuo.
- Costo – beneficio.
- Impacto ambiental.
- Volumen del residuo.

b.2) Para residuos sólidos domésticos se aplicará el tratamiento y disposición con la mejor tecnología disponible a fin de optimizar el beneficio del producto obtenido.

b.3) Para los desechos industriales se contará con una planta de tratamiento que contemple especificaciones técnicas ambientalmente aceptables a fin de disminuir el volumen y la concentración de los contaminantes contenidos en los desechos.

b.4) El sitio de disposición no debe localizarse en las cercanías de áreas residenciales, zonas pantanosas, hábitats sensibles de fauna silvestre, canales de drenaje, áreas sujetas a inundaciones temporales y cercanías a cuerpos de agua.

b.5) Los residuos sólidos especiales (peligrosos) serán clasificados, tratados y dispuestos, según el caso, mediante la alternativa más adecuada constante en la Tabla No. 8 de este Reglamento; y,

c) Se deberá instruir al personal sobre el manejo, transporte, almacenamiento, tratamiento y disposición de los desechos que se generan en la industria.”¹¹

“ART. 77.– Manejo de desechos.– Además de lo establecido en los artículos 28, 29, 30 y 31 de este Reglamento, la comercialización de combustibles, lubricantes y afines a los diferentes sectores de consumo deberá cumplir con lo siguiente:

¹¹ Reglamento ambiental para las operaciones hidrocarburíferas en el Ecuador.

Si se trata de Centros de Distribución en los cuales además del expendio de combustible se expenden lubricantes y se dan servicios de lubricación, cambio de aceites de motor, lavado y engrasado de vehículos automotores, de conformidad con el Plan de Manejo Ambiental deberán contar obligatoriamente con un equipo instalado para la recirculación de agua y la recolección y recuperación de hidrocarburos: combustibles, grasas, aceites, etc. La instalación de trampas de aceites y grasas en puntos estratégicos es obligatoria. Estos establecimientos deberán llevar bajo su responsabilidad un registro mensual de los volúmenes de combustible, grasas y aceites recuperados y de su disposición final.”¹²

2.5.1.3 Normas relacionadas

El Ministerio de Energía y Minas y Petroecuador, a través de la Gerencia de Protección Ambiental, en mayo del 2001, editaron el libro “Gestión Ambiental Hidrocarburífera” que contiene el “Reglamento Sustitutivo del Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador”, en el que consta además, una introducción que detalla el proceso de elaboración del mismo y la voluntad política del gobierno para promover un desarrollo sustentable del país.

En el Volumen II de la Gestión Ambiental Hidrocarburífera, constan la Constitución Política de la República, Leyes, Reglamentos, Acuerdos Internacionales, y concluye con una propuesta de modelo de sistema de gestión ambiental (SGA) que puede ser aplicado en el ámbito empresarial, desde la perspectiva de las normas ISO 14.000. Los artículos más sobresalientes se detallan a continuación:

“Art. 33.- Establécense como instrumentos de aplicación de las normas ambientales los siguientes: parámetros de calidad ambiental, normas de efluentes y emisiones, normas técnicas de calidad de productos, régimen de permisos y licencias administrativas, evaluaciones de impacto ambiental, listados de productos contaminantes y nocivos para la salud humana y el medio

¹² Reglamento ambiental para las operaciones hidrocarburíferas en el Ecuador; 1998.

ambiente, certificaciones de calidad ambiental de productos y servicios y otros que serán regulados en el respectivo reglamento.

Art. 34.- También servirán como instrumentos de aplicación de normas ambientales, las contribuciones y multas destinadas a la protección ambiental y uso sustentable de los recursos naturales, así como los seguros de riesgo y sistemas de depósito, los mismos que podrán ser utilizados para incentivar acciones favorables a la protección ambiental.

Art. 35.- El Estado establecerá incentivos económicos para las actividades productivas que se enmarquen en la protección del medio ambiente y el manejo sustentable de los recursos naturales. Las respectivas leyes determinarán las modalidades de cada incentivo.”¹³

2.5.2 LEGISLACIÓN INTERNACIONAL

La normativa internacional está constituida principalmente por el “Convenio de Basilea sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de los Desechos Peligrosos y su Eliminación” y por la Agenda 21.

En un artículo tomado de la Agenda 21, se puede observar la visión general que se tiene en los dos documentos en cuanto al manejo adecuado que se le debe dar a los desechos sólidos

“20.1. Para velar por la protección de la salud y del medio ambiente, una ordenación adecuada de los recursos naturales y un desarrollo sostenible, es de extrema importancia controlar eficazmente la producción, el almacenamiento, el tratamiento, el reciclado y la reutilización, el transporte, la recuperación y la eliminación de los desechos peligrosos. Esto precisará la cooperación y participación activas de la comunidad internacional, los gobiernos y la industria. Para los fines del presente documento la industria abarcará las grandes empresas industriales, incluidas las empresas transnacionales y la industria nacional.”¹⁴

Si fuese necesario se mencionarán artículos de estos documentos en el desarrollo del proyecto.

¹³ Ministerio de Energía y Minas y Petroecuador; Gestión Ambiental Hidrocarburífera; 2001.

¹⁴ Agenda 21.

Como respaldo técnico y complemento a la legislación internacional, se recurrirá a la utilización de las normas y publicaciones siguientes debido a la información valiosa que proporcionan sus criterios específicos en cuanto a cuestiones relacionadas con las diferentes etapas dentro de un sistema de manejo de desechos sólidos:

- API E5, Environmental Guidance Document: Waste Management in Exploration and Production Operations.
- Publicación API 3020, “Waste Minimization in the Petroleum Industry, a Compendium of Practices”.
- Publicación API 4455, “Land Treatability of Appendix VIII Constituents Present in Petroleum Refinery Wastes: Laboratory and Modeling Studies”.
- Publicación API 4465, “Evaluation of Treatment Technologies for Listed Petroleum Refinery Wastes”.
- Publicación API 4379, “The Land Treatability Of Appendix VIII Constituents Present Petroleum Industry Wastes”.
- ISO 14001, Environmental Management Systems
- OSHA, Hazardous waste operations and emergency response. - 1910.120
- EPA, Electronic Code of Federal Regulations

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS DE TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO APLICABLES A LOS DESECHOS SÓLIDOS EN LA REFINERÍA ESTATAL DE ESMERALDAS

A partir de 1989 con la firma y aprobación del convenio internacional de Basilea, por parte de 116 países, el mismo que versa sobre el control de desplazamientos de desechos peligrosos a través de fronteras y su disposición final, se inició una nueva era de investigación en lo referente a técnicas y procedimientos para tratar desechos peligrosos, lo cuál ofrece una variedad de alternativas para confrontar el problema generado por los desechos sólidos en la REE.

Estas técnicas denominadas por la EPA como innovadoras, consisten en la aplicación de procesos químicos, biológicos o físicos a desechos o materiales contaminados a fin de cambiar su estado o propiedades en forma permanente, pueden reducir la cantidad de material contaminado presente en un lugar, retirar el componente que hace peligroso a los desechos, o inmovilizar el contaminante de los mismos.

Existen varios métodos de tratamiento para los desechos sólidos que pueden ser aplicados a aquellos producidos en la refinería: Métodos térmicos, métodos físicos, métodos químicos, métodos biológicos, y métodos de fijación-solidificación-encapsulamiento.

Los mismos serán agrupados dentro de las técnicas de procesamiento para desechos sólidos siguientes:

- Reducción Mecánica del Volumen
- Reducción Química del Volumen
- Reducción Mecánica del Tamaño
- Separación de Componentes

3.1 REDUCCIÓN MECÁNICA DEL VOLUMEN

La reducción mecánica del volumen es un factor importante en el desarrollo y operación de casi todos los sistemas de manejo de desechos sólidos. En la mayoría de ciudades, los vehículos equipados con mecanismos de compactación son usados para recolectar los desechos sólidos. Para incrementar el uso de vida de los terrenos de relleno, los desechos usualmente son compactados antes de ser cubiertos. Recientemente, sistemas compactación de alta presión han sido desarrollados para reducir los requerimientos para los rellenos y para producir materiales adecuados para varias alternativas de uso. La finalidad de la utilización de un sistema de compactación en la Refinería de Esmeraldas es facilitar la manipulación de los desechos sólidos que no presenten características peligrosas; principalmente aquellos provenientes de las áreas del bar-comedor, y áreas administrativas.

3.1.1 EQUIPOS DE COMPACTACIÓN

Los tipos de equipos de compactación usados en las operaciones de desechos sólidos pueden ser clasificados como estacionarios y móviles. Cuando los desechos son traídos y cargados en el compactador ya sea manual o mecánicamente, el compactador es estacionario. Por el contrario, los equipos de ruedas y tracción son usados para ubicar y compactar los desechos sólidos en los rellenos. A continuación la tabla 3.1 describe los tipos y aplicaciones de los equipos de compactación.

Tabla 3.1. Tipos y aplicaciones de los equipos de compactación.

LOCALIZACIÓN U OPERACIÓN	TIPO DE COMPACTADOR	OBSERVACIONES
Puntos de generación de desechos sólidos	Estacionario / residencial vertical	Pistón vertical de compactación; puede ser operado mecánica o hidráulicamente; puede ser alimentado manualmente; desechos compactados en contenedores de cajas onduladas o papel o bolsas plásticas; usados en departamentos de media y gran elevación.
	Giratorio	Mecanismo de pistón usado para compactar desechos en papel o bolsas plásticas sobre una plataforma giratoria, la plataforma gira de acuerdo a como se llenan lo contenedores; usados en departamentos de media y gran elevación.
	Bolsa o extruder	Compactador puede ser alimentado por una rampa; con pistones verticales u horizontales; multibolsas unitarias o continuas; las bolsas unitarias deben ser reemplazadas y las continuas deben ser atadas y reemplazadas.

**Tabla 3.1. Tipos y aplicaciones de los equipos de compactación.
(Continuación)**

Puntos de generación de desechos sólidos	Bajo el mostrador	Compactadores pequeños usados en residencias individuales y departamentos; desechos compactados en bolsas especiales de papel; después son botados a través de una puerta de panel en una bolsa y la puerta se cierra; son rociados para control de olores; el botón es oprimido para activar el mecanismo de compactación.
	Estacionario / comercial	Compactador con pistones verticales u horizontales; desechos comprimidos en un contenedor de acero; desechos comprimidos son manualmente atados y removidos; usados en instalaciones comerciales e industriales.
Recolección	Estacionario / empacador	Vehículos recolectores equipados con mecanismos de compactación.
Transferencia y/o estación de procesamientos	Estacionario / trailer de transferencia estacionario	Trailer de transporte, usualmente cerrado, equipado con mecanismo de compactación interno.
	Baja presión	Desechos con compactados en grandes contenedores.
	Alta presión	Desechos con compactados en balas densas u otras formas.

Tabla 3.1. Tipos y aplicaciones de los equipos de compactación. (Continuación)

Sitio de disposición	Rueda movable o equipo de tracción	Equipo especialmente diseñado para alcanzar la máxima compactación de desechos.
	Estacionario / tracción montada	Compactadores estacionarios movibles de alta presión usados para reducción de volumen en sitios de disposición.

Fuente: George Tchobanoglous, Solid Waste Management ; 1998

Los compactadores estacionarios son descritos de acuerdo a su aplicación:

- Trabajo liviano. (como áreas residenciales)
- Comercial e industria liviana.
- Industria pesada.
- Estación de transferencia.

Luego de que los desechos sólidos han sido comprimidos, se produce una reducción en su volumen. La reducción de volumen expresada de manera porcentual está dada por la siguiente ecuación:

$$\text{Reducción del volumen (\%)} = \left(\frac{V_i - V_f}{V_i} \right) \times 100 \quad (3.1)$$

Donde V_i = Volumen inicial de los desechos sólidos antes de la compactación (m^3)

V_f = Volumen final de los desechos sólidos luego de la compactación (m^3)

La razón de compactación se define como:

$$r_c = \frac{V_i}{V_f} \quad (3.2)$$

Donde r_c = Razón de compactación.

La relación entre la reducción de volumen y la razón de compactación se aprecia a continuación en la Figura 3.1:

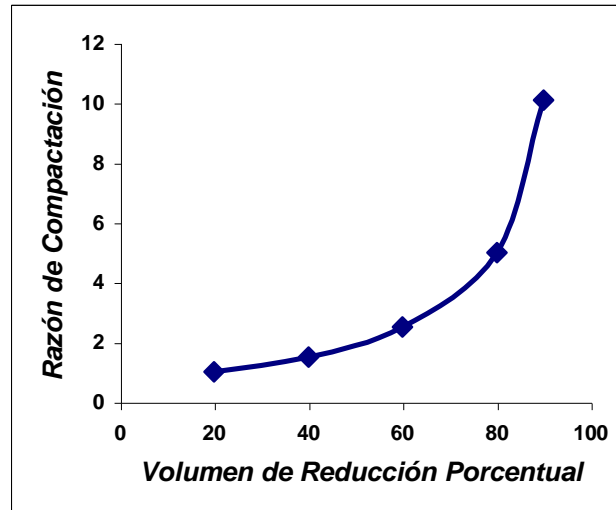


Figura 3.1. Razón de compactación versus volumen de reducción porcentual.

Se observa que el volumen de reducción porcentual se incrementa de forma exponencial con la razón de compactación. Este tipo de relación se obtiene debido a que mientras mayor es la diferencia entre el volumen inicial (antes de la compactación) y el volumen final de los desechos (luego de la compactación), mayor es la reducción de volumen que se puede alcanzar; en teoría podría ser hasta el 100%. Sin embargo para entender este comportamiento, también debe considerarse un fenómeno llamado aglomeración, que se produce al aplicar presión a un conjunto de macropartículas (en este caso los desechos) dentro de un espacio confinado como es el caso de un compactador. Al aplicar una presión a una cierta cantidad de materiales no homogéneos (desechos sólidos) al interior de una matriz o troquel (compactador), se producen diferentes zonas en el material compactado que están sometidas a distintas intensidades de presión y se encuentran en diferentes etapas de compactación. Generalmente se tiene un núcleo axial denso en la parte inferior del material compactado, y una zona de baja densidad en la parte que se halla en contacto con el émbolo. Puesto que entre los desechos sólidos que se compactan, existen partículas fibrosas, a la

fuerza de aglomeración debe añadirse otro componente; la interconexión mecánica.

En el caso de un conglomerado compuesto por partículas esféricas de igual tamaño, la resistencia a la tensión i es:

$$i = \frac{9}{8} \left(\frac{1 - \varepsilon}{\pi X^2} \right) N F \quad (3.3)$$

en donde X es el diámetro de la partícula; F es la fuerza de enlace por punto de contacto, N es el número medio de coordinación $N = 2 \exp 2.4(1 - \varepsilon)^2$, y ε es la fracción de volumen de los espacios vacíos del conglomerado.

Debido a que la razón de compactación depende de las características físicas de los desechos a tratarse, en la práctica para el diseño se utilizan valores intermedios del mismo.

Tomando en cuenta la Tabla 1.2, los desechos sólidos que pueden someterse a un procedimiento de compactación con sus respectivos volúmenes se aprecian en la Tabla 3.2:

Tabla 3.2. Clasificación de los desechos de la REE que pueden intervenir en la compactación.

Código	Clase de desecho sólido	Volumen (m ³ /año)
B0046	Desechos domésticos orgánicos	228
B3010	Desechos de plástico	1.5
B3020	Desechos de papel y cartón	60
	TOTAL	289.5

De acuerdo al trabajo de campo realizado en la refinería se estimó que el volumen diario de estos desechos (alimentos, papelería, plásticos, etc) se encuentra alrededor de los 5m³; y considerando una densidad típica promedio

¹ Rumpf, Agglomeration, pág. 379

² Meissner, I.E.C. Process Design Develop., cap.3, 1964

de 220 lb/yd³ (130.53 kg/m³), ³ el peso aproximado es de 650 kg. Para manejar este volumen de desechos se requiere una compactador de pequeña capacidad, como el que a continuación se sugiere:

Tabla 3.3. Características técnicas del equipo de compactación.

	RENDIMIENTO:
	Fuerza de presión = 26TON
	Tiempo del ciclo = 32sec
	Volumen por hora = 101m ³
	DIMENSIONES:
	Largo = 4395mm
	Ancho = 1870mm
	Profundidad = 2200mm
	OTRAS CARACTERÍSTICAS:
	Capacidad de la maquina = 12m ³
Volumen del compartimiento de carga = 0.9m ³	
Altura de carga = 1143mm	

Fuente: PAAL Group; www.paalgroup.com

La razón de compactación varía en un rango de 2:1 a 8:1; dependiendo de la composición de los desechos. Aplicando la ecuación 3.2, se obtendría una reducción de volumen como la presentada en la siguiente Tabla 3.4:

Tabla 3.4. Volumen final de los desechos luego del proceso de compactación.

$V_i (m^3)$	r_c	$V_f (m^3)$
5	2	2.5
5	4	1.25
5	6	0.83
5	8	0.63

La reducción en el volumen observada facilita la manipulación y embalaje de los desechos sólidos generados antes mencionados.

³ George Tchobanoglous, Solid Waste Management; Cap. 4, Generation of Solid wastes; 1998.

3.2 REDUCCIÓN QUÍMICA DEL VOLUMEN

A parte de la reducción mecánica del volumen, varios procesos químicos han sido usados para reducir el volumen de los desechos sólidos. En un principio los quemaderos al aire libre eran una práctica muy común en los sitios de disposición, en algunos lugares estos métodos siguen siendo utilizados. A principios de siglo, la reducción química era usada para recuperar grasa de los desechos y en el proceso el volumen era reducido. Con el pasar de los años, la incineración ha sido el método más comúnmente usado para reducir los desechos químicamente, aunque otros procesos químicos como la pirólisis, hidrólisis y conversión química son efectivos en la reducción química del volumen de los desechos sólidos.

Actualmente la incineración es usada para reducción de volumen y también para producción de energía.

3.2.1 INCINERACIÓN

Se considera a la incineración como un método de tratamiento de desechos extremadamente efectivo, especialmente desde el desarrollo de equipos más eficientes. Con este tipo de tecnología pueden tratarse muchos tipos de desechos sólidos, líquidos y gaseosos, a menudo en combinación. Entre los tipos de desechos sólidos de la Refinería de Esmeraldas que pueden someterse a este tratamiento, se encuentran:

- Sedimentos del separador de gravedad.
- Lodos de la desaladora.
- Sedimentos del fondo de los tanques.
- Arcilla gastada.
- Azufre fuera de especificación.
- Asfalto.
- Suelo contaminado con petróleo.
- Desechos en general (esencialmente no peligrosos.)
- Prendas de uso personal de seguridad (guantes, overoles, etc.)

Las principales ventajas de la incineración son la marcada reducción de la cantidad de desechos que deben tratarse y la destrucción casi completa de los desechos orgánicos peligrosos. Por lo general, la ceniza es inerte y puede ser eliminada en un depósito de basura o 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. Los incineradores más recientes emiten mucho menos dioxinas y partículas.

Existen, sin embargo, algunos puntos que considerar con respecto a los incineradores. La incineración puede ser un proceso costoso. Debido a ello, muchas refinerías envían sus desechos a incineradores externos. No obstante, algunos refinadores prefieren ejercer un control total sobre sus propios desechos y construir sus propios servicios.

Los productos de la combustión ceniza, escoria, gases de la combustión y el agua residual proveniente de la limpieza de gases se deben someter a tratamiento.

Se necesitan limpiadores de gases de combustión (scrubbers), filtros y/o precipitadores electrostáticos para eliminar los niveles excedentes de óxidos de azufre, cloruro de hidrógeno, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos no quemados (generalmente no son problema), partículas y metales pesados (que pueden volatilizarse a temperaturas muy elevadas).

A continuación en la Tabla 3.5 se presentan los estándares de emisión para incineradores de desechos peligrosos:

Tabla 3.5. Estándares de emisión para incineradores de desechos peligrosos.

Contaminante	Incinerador	
	Nuevo	Existente
Materia particulada: polvo (mg/dsm ³)	69	69
Hidrocarburos inquemados (ppmv)	12	12
CO (ppmv)	100	100
Metales pesados : Sb, As, Be, Cr (µg/dsm ³)	60	210
Metales pesados : Pb, Cd (µg/dsm ³)	82	270
HCl + Cl ₂ (ppmv)	67	280

Tabla 3.5. Estándares de emisión para incineradores de desechos peligrosos. (Continuación)

Contaminante	Incinerador	
	Nuevo	Existente
Hg ($\mu\text{g}/\text{dsm}^3$)	50	50
NO ₂ (ppmv)	200	200
SO ₂ (ppmv)	50	50
Dioxinas y furanos ($\mu\text{g}/\text{dsm}^3$)	0.2	0.2

Fuente: EPA, Office of Solid Waste; Environmental fact sheet

dsm^3 : Metro cúbico de gas seco y en condiciones estándar

Los incineradores de lecho fluidizado generalmente se recomiendan para tratar tipos de desechos como los producidos en refinerías de petróleo.

Los incineradores de lechos fluidos son reactores cilíndricos cubiertos con material refractario que contienen un lecho arenoso calentado y fluidificado por un soplador. Los desechos se inyectan en el lecho mediante una bomba de cavidad progresiva o un alimentador de tornillo y la temperatura se mantiene a 900-1000°C. De esta forma, se origina la descomposición térmica y combustión de los productos más livianos sobre el lecho.

Los tiempos de residencia pueden durar varios días en el caso de los sólidos atrapados por el lecho. Los gases calientes de la combustión proporcionan el precalentamiento del aire.

Generalmente, se necesita un ciclón o un lavador húmedo para quitar la arena traída desde el lecho. Debido a la gran cantidad de arena en el lecho, este tipo de incinerador reacciona con relativa lentitud a los cambios producidos en el valor calorífico de los desechos. Sin embargo, la unidad tiene un elevado costo de capital y el aire debe ser precalentado. A velocidades reducidas de inyección de desechos la eficiencia de utilización del combustible es mala.

Este tipo de incinerador es en la actualidad el más comúnmente utilizado, especialmente en las instalaciones centrales de tratamiento de desechos. Virtualmente cualquier tipo de desechos puede ser quemado líquido, gas, lodo, suelo a granel o en cilindros. Los hornos rotatorios comerciales alcanzan un

99,995%⁴ de rendimiento en destrucción y eliminación. Los hornos de cemento una versión de esta tecnología logran un 99,992% de rendimiento.

3.2.1.1 Consideraciones matemáticas

Para comprender el fenómeno que se produce en un lecho fluidizado deben tomarse en cuenta dos variables principales: la velocidad mínima de fluidización y la porosidad para fluidización.

Cuando se produce un flujo hacia arriba a través de un lecho de partículas, a baja velocidad, las partículas permanecen estacionarias. Al aumentar la velocidad del flujo, se incrementa la caída de presión. Al incrementar aún más la velocidad, se llega a una condición donde la caída de presión multiplicada por el área transversal iguala a la fuerza gravitacional de la masa de partículas. Luego las partículas empiezan a moverse, y éste es el punto de fluidización mínima. La velocidad del flujo en el cuál empieza la fluidización de las partículas es la velocidad mínima de fluidización v'_{mf} en m/s y depende además de la sección transversal de la cámara del incinerador.

La porosidad del lecho cuando empieza la fluidización es la porosidad mínima o porosidad para fluidización ε_{mf} . Luego de alcanzada la velocidad mínima de fluidización, la caída de presión disminuye ligeramente y luego permanece prácticamente estable mientras el lecho continúa expandiéndose (incremento en la porosidad con incremento en la velocidad). En este punto el lecho se asemeja a un líquido en ebullición.

La relación entre la altura del lecho L y la porosidad ε antes y después de la fluidización se representa como sigue para un lecho con una sección transversal A .

$$\begin{aligned} L_1 A(1 - \varepsilon_1) &= L_2 A(1 - \varepsilon_2) \\ \frac{L_1}{L_2} &= \frac{1 - \varepsilon_2}{1 - \varepsilon_1} \end{aligned} \tag{3.4}$$

⁴ Chemical Engineering Progress; Rotary Incineration Systems for Solid Hazardous Wastes; Artículo de D. Tillman, A. Rossi y K. Vick; Julio 1990.

L_1 es la altura del lecho con porosidad ε_1 y L_2 es la altura del lecho con porosidad ε_2 .⁵

Esta igualdad se cumple puesto que el volumen $LA(1-\varepsilon)$ es igual al volumen total de los sólidos como si fueran una sola pieza. La ecuación anterior sirve para determinar la porosidad del lecho a una altura determinada del mismo, mientras éste continúa expandiéndose. Esta variable está en relación directa con la temperatura que se alcanza en el interior del reactor, y se la puede emplear con fines experimentales, o para utilizarla como variable a medir mediante equipo de instrumentación para monitorear las condiciones de operación.

3.2.1.1.1 Determinación de la caída de presión y velocidad mínima de fluidización

Para obtener la caída de presión al inicio de la fluidización, se considera que la fuerza obtenida de la caída de presión multiplicada por el área transversal debe ser igual a la fuerza gravitacional ejercida por la masa de partículas menos la fuerza boyante del fluido desplazado. De aquí se obtiene:

$$\frac{\Delta p}{L_{mf}} = (1 - \varepsilon_{mf})(\rho_p - \rho)g \quad (\text{SI}) \quad (3.5)$$

Puesto que a menudo se tienen partículas de forma irregular en el lecho (como es el caso en un incinerador de desechos sólidos), es más conveniente y exacto utilizar el tamaño de las partículas y el factor de forma en estas ecuaciones. Primero se introduce el término del diámetro efectivo $\phi_s D_p$ donde D_p representa el tamaño de la partícula como una esfera del mismo volumen, y ϕ_s es el factor de forma. Así la ecuación para la caída de presión se convierte en:

⁵ Geankopolis; Transport Processes and Unit operations.

$$\frac{\Delta p}{L} = \frac{150\mu v' (1-\varepsilon)^2}{\phi_s^2 D_p^2 \varepsilon^3} + \frac{1.75\rho(v')^2 (1-\varepsilon)}{\phi_s D_p \varepsilon^3} \quad (3.6)$$

Donde L es la longitud del lecho en m.

Utilizando esta ecuación se puede también hallar la velocidad mínima de fluidización v'_{mf} sustituyendo v' por v'_{mf} , ε por ε_{mf} , L por L_{mf} , y combinando el resultado con la Ec. (3.5):

$$\frac{1.75D_p^2 (v'_{mf})^2 \rho^2}{\phi_s^2 \varepsilon_{mf}^3 \mu^2} + \frac{150(1-\varepsilon_{mf})D_p v'_{mf} \rho}{\phi_s^2 \varepsilon_{mf}^3 \mu} - \frac{D_p^3 \rho(\rho_g - \rho)g}{\mu^2} = 0 \quad (3.7)$$

y definiendo el número de Reynolds como:

$$N_{Re,mf} = \frac{D_p v'_{mf} \rho}{\mu} \quad (3.8)$$

finalmente se tiene:

$$\frac{1.75D_p^2 (N_{Re,mf})^2}{\phi_s^2 \varepsilon_{mf}^3} + \frac{150(1-\varepsilon_{mf})(N_{Re,mf})}{\phi_s^2 \varepsilon_{mf}^3} - \frac{D_p^3 \rho(\rho_g - \rho)g}{\mu^2} = 0 \quad (3.9)$$

Cuando $N_{Re,mf} < 20$ (partículas pequeñas) el primer término de la ecuación anterior puede despreciarse.

Cuando $N_{Re,mf} > 1000$ (partículas grandes) el segundo término se elimina.⁶

Una ecuación válida para la obtención del número de Reynolds basada en los estudios de Wen and Yu que encontraron para una variedad de sistemas que:

$$\phi_s \varepsilon_{mf}^3 \cong \frac{1}{14} \quad \frac{1-\varepsilon_{mf}}{\phi_s^2 \varepsilon_{mf}^3} \cong 11 \quad (3.10)$$

⁶ Geankopolis; Transport Processes and Unit operations.

$$\text{es } N_{Re,mf} = \left[(33.7)^2 + 0.048 \frac{D_p^3 \rho (\rho_p - \rho) g}{\mu^2} \right] - 33.7 \quad (3.11)$$

Esta ecuación funciona para un rango de número de Reynolds desde 0.001 a 4000 con un promedio de desviación de 25%.

3.2.1.1.2 Transferencia del calor para flujo en lechos fluidizados

Las correlaciones de los coeficientes de transferencia de calor para lechos fluidizados son útiles en el diseño de varios sistemas entre los que se encuentran incineradores. Para determinar la tasa de transferencia de calor en un lecho para una altura diferencial dz en m, se tiene:

$$dq = h(a.S.dz)(T_1 - T_2) \quad (3.12)$$

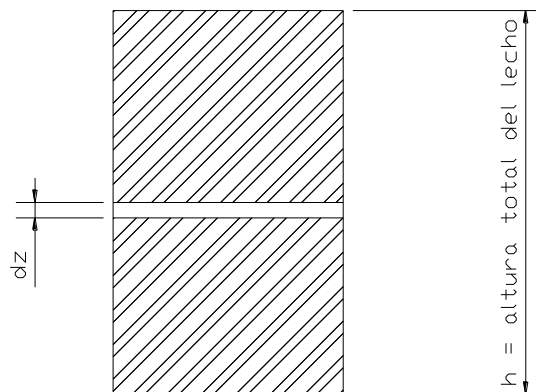


Figura 3.2. Altura diferencial para determinar la tasa de transferencia de calor en un lecho fluidizado.

Donde a es el área superficial de la partícula sólida por unidad de volumen en el lecho m^{-1} , S la sección transversal hueca del lecho en m^2 , T_1 la temperatura del gas en $^{\circ}K$ y T_2 la temperatura de la superficie del sólido.

Para conocer la cantidad de calor transferida por los gases en lechos donde las partículas pueden considerarse esféricas, y un número de Reynolds entre 10-10000,

$$\varepsilon J_H = \varepsilon \frac{h}{c_p v' \rho} \left(\frac{c_p \mu}{k} \right)_f^{2/3} = \frac{2.876}{N_{Re}} + \frac{0.3023}{N_{Re}^{0.35}} \quad (3.13)$$

El término J_H es conocido como el factor J de Colburn y es el coeficiente de transferencia de calor adimensional. $h = U_{CO}$ = coeficiente global entre la superficie interna de la cámara del reactor y la corriente del fluido. Estos datos son suficientes en el diseño preliminar del incinerador.

El costo constituye una desventaja significativa. La cifra es específica para una determinada alimentación, así como para el volumen y el emplazamiento. A menudo ésta se encuentra en el rango de “\$250-400 por tonelada, aunque algunas veces puede disminuir hasta \$75-120 por tonelada, o ascender a más de \$500 por tonelada”.⁷ Así mismo, existen los problemas inherentes al gran cilindro giratorio usado en el incinerador de lecho fluidizado y han habido oportunidades en que los desechos se han pegoteado en el horno o se han apelmazado en el refractario, provocando así malos olores y humo.

A continuación en la Tabla 3.6 se sugiere un tipo de incinerador cuyas características técnicas bastan para tratar el volumen de desechos sólidos que se pueden someter a este tratamiento (incluso tomando en cuenta que durante los paros de planta la cantidad de desechos sólidos se incrementa notablemente). Se muestran tres alternativas, un incinerador solamente para desechos sólidos, otro que también sirve para tratar lodos y desechos líquidos, y una última que además trata lixiviados de desechos sólidos.

⁷ Ministerio de Energía y Minas del Perú; Guía para el Manejo de Desechos de las Refinerías de Petróleo.

Tabla 3.6. Características técnicas de incineradores de lecho fluidizado que cumplirían características requeridas para dar tratamiento a desechos sólidos producidos en la REE.

MARCA: VENTEVILLE B.V.

Incinerador (No. modelo)	600 S	600 SL P	600 SL WS P
Capacidad de Combustión (kW)	581	581	581
Capacidad de Combustión (kcal/h)	500.000	500.000	500.000
Capacidad de Combustión – Especificación IMO de desechos sólidos (kg/h)			100
Especificación IMO (l/carga)	250	250	
Capacidad de combustión – Lodos aceitosos IMO spec. (kg/h)		66	66
(max. l/h)		100	100
Longitud L(mm)	1936	2044	2508
Ancho (mm)	1806	1806	1806
Altura (mm)	2457	2457	2457
Dimensiones puerta de carga (mm)	560*550	560*550	350*350
Peso aproximado (kg)	4200	4600	4850
S = Desechos Sólidos L = Lodos/Desechos Líquidos WS = Lixiviados de desechos sólidos P = Unidad de control PLC			
	Consumo total de aire del incinerador:	5,200 Nm ³ /h	
	Temperatura de gas fuente:	350°C	
	Volumen de gas fuente:	12,450 m ³ /h a 350°C.	
	Máxima contrapresión en la chimenea incluido pérdida en la salida	295 Pa (30 mm W.G.)	
	Consumo de Fuel oil para calentar el incinerador:	approx. 34 litros	

Tabla 3.6. Características técnicas de incineradores de lecho fluidizado que cumplirían características requeridas para dar tratamiento a desechos sólidos producidos en la REE. (Continuación)

Consumo de aire comprimido de quemador de lodos:	max. 32 m ³ /h at 20°C
Operación de lixiviados:	max. 0.15 m ³ /h at 20°C
Presión de aire comprimido:	7 - 10 bar

Fuente: Venteville B.V. www.venteville.nl

3.2.2 PIRÓLISIS

De las muchas alternativas de procesos de conversión químicas que han sido investigadas, excluyendo la incineración, la pirólisis ha recibido la mayor atención. Debido a que la mayoría de sustancias orgánicas son termalmente inestables, estas pueden sobrecalentarse en una atmósfera libre de oxígeno, pueden ser separadas a través de una combinación de craqueamiento termal y dentro de reacciones de condensación en fracciones gaseosas, líquidas y sólidas. El término usado para describir este proceso es la pirólisis. En contraste con el proceso de combustión, el cual es altamente exotérmico, el proceso pirolítico es altamente endotérmico; por esta razón el término destilación destructiva es usualmente usado como un sinónimo de la pirólisis.

La pirólisis ocurre típicamente a bajas presiones y opera a temperaturas por encima de los 800°F. En la práctica no es posible lograr una pirólisis libre de oxígeno en la atmósfera, porque alguna pequeña cantidad de oxígeno queda en el sistema produciéndose la oxidación. Si en los desechos se encuentran materiales volátiles o semi-volátiles, también ocurrirá una desorción termal.

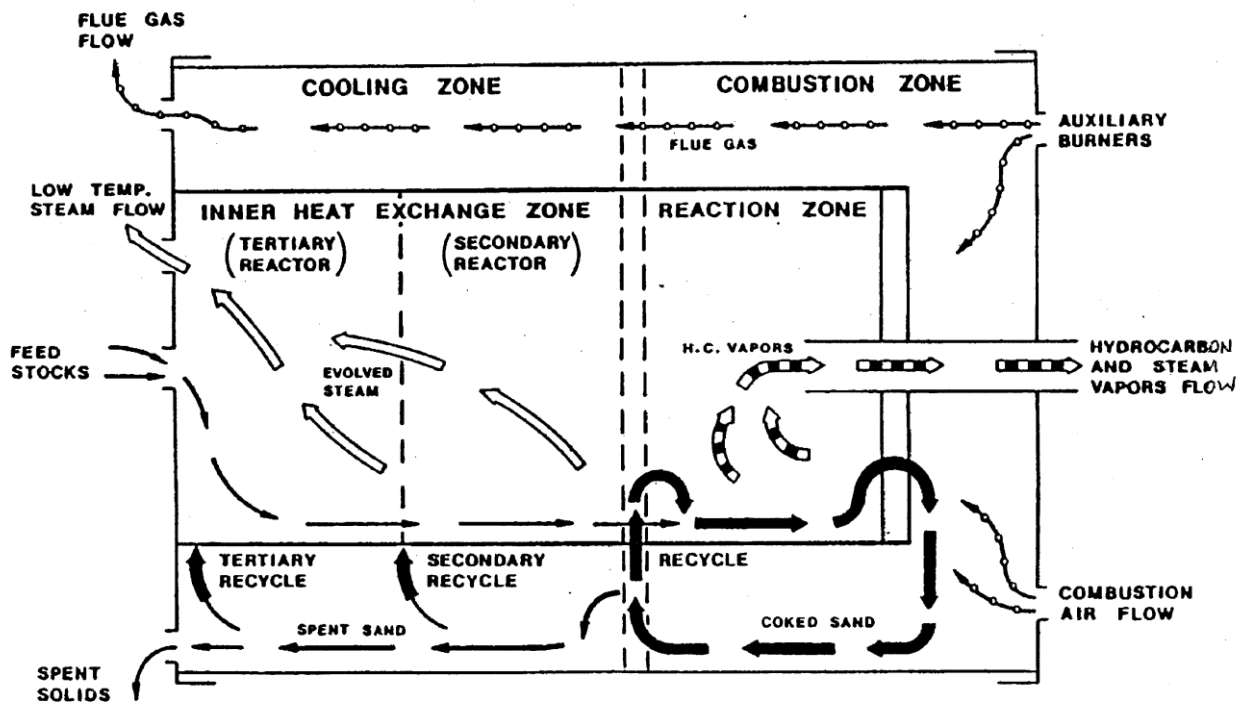
Las características de los tres componentes fraccionarios más importantes del resultado de la pirólisis son:

- Un chorro o raudal de gas principalmente contiene hidrógeno, metano, monóxido de carbono, dióxido de carbono, y otros varios gases, dependiendo de las características orgánicas del material que está siendo pirolisado.

- Una fracción de chorro o raudal que consiste de alquitrán y/o aceite (petróleo) que es líquido a temperatura ambiente y que ha sido encontrado conteniendo químicos como ácido acético, acetona y metanol.
- Una carbonización consistiendo de casi carbón puro más cualquier material inerte que puede haber entrado al proceso.

Algunos tipos de unidades para la pirólisis están disponibles, incluyendo hornos rotatorios, hornos rotatorios de chimenea o lechos fluidizados de chimenea. Estas unidades son similares a las de los incineradores excepto que estos operan a menores temperaturas y con menor ingreso de aire.

A continuación en la Figura 3.2 se presenta un esquema de un pirolisador con sus zonas principales y sus diferentes flujos.



PYROLYSIS PROCESSOR
MAJOR ZONES AND FLOW STREAMS

Figura 3.3. Procesador de pirólisis, con sus zonas principales y flujos existentes.

Después del proceso de pirólisis se puede determinar la reducción porcentual de los desechos que tratados.

Porcentaje de Reducción (%) = [(mg/Kg compuesto en la alimentación) – (mg/Kg compuesto en desecho sólido)] / (mg/Kg compuesto en la alimentación)

(3.14)

Entre los tipos de desechos sólidos de la Refinería de Esmeraldas que pueden someterse a este tratamiento, se encuentran:

- Sedimentos del separador de gravedad.
- Lodos de la desaladora.
- Sedimentos del fondo de los tanques.
- Arcilla gastada.
- Azufre fuera de especificación.
- Asfalto.
- Suelo contaminado con petróleo.
- Desechos en general (esencialmente no peligrosos.)
- Prendas de uso personal de seguridad (guantes, overoles, etc.)

Tabla 3.7. Características técnicas de un horno de pirólisis.

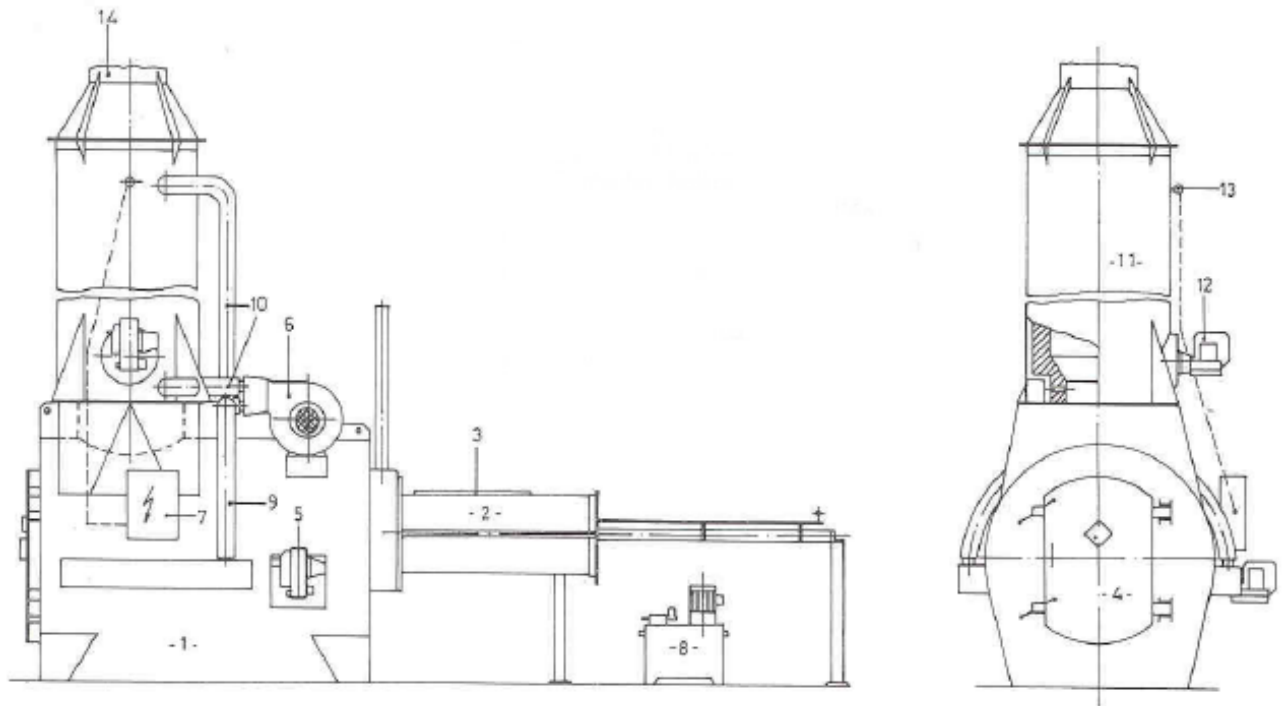
Modelo	Volumen cámara pirólisis (m ³)	Dimensiones (mm)			Peso (kg)	Capacidad de incineración (kg/h) (C)		
		Longitud (A)	Anchura	Altura (B)		kcal/kg 2.500 p.c.i.	kcal/kg 4.500 p.c.i.	kcal/kg 6.500 p.c.i.
PS-0,5	0,5	1.400	1.300	1.500	4.500	40	30	25
PS-1	1	2.000 (5.400)	1.600	1.600	5.950	60	40	30
PS-1,5	1,5	2.100 (5.500)	1.750	1.620	7.400	90	50	35
PS-2	2	2.150 (5.750)	2.000	1.820	8.300	110	80	50
PS-3	3	2.450 (5.950)	2.100	1.960	9.800	150	100	65
PS-4	4	2.850 (6.350)	2.450	2.120	12.100	180	115	80
PS-5	5	2.950 (6.450)	2.550	2.220	13.800	220	140	100
PS-6	6	3.300 (7.050)	2.600	2.220	16.200	250	160	120
PS-8	8	3.700 (7.650)	3.000	2.850	21.500	350	210	145
PS-10	10	4.100 (8.450)	3.150	2.850	25.000	450	260	190

(A) Los valores entre paréntesis corresponden a equipos con cargador mecánico.

(B) La altura es la de la cámara de pirólisis sin postcombustor, que puede ser horizontal o vertical.

(C) La capacidad de incineración se refiere a un uso discontinuo del incinerador.

Fuente: KALFRISA S.A. Energía y Ambiente www.kalfrisa.com



- | | |
|---------------------------|------------------------------------|
| 1 Cámara de pirólisis | 8 Centralita hidráulica |
| 2 Cargador | 9 Conducto aire de combustión |
| 3 Tapa de cargador | 10 Conducto aire de postcombustión |
| 4 Puerta descarga cenizas | 11 Postcombustor |
| 5 Quemador de encendido | 12 Quemador de postcombustión |
| 6 Ventilador | 13 Sonda de temperatura |
| 7 Cuadro eléctrico | 14 Chimenea |

Fuente: KALFRISA S.A. Energía y Ambiente www.kalfrisa.com

Figura 3.4. Esquema de partes de un horno de pirólisis.

La determinación de la transferencia de calor en un horno de pirólisis es un procedimiento largo y complicado, para el cuál se requiere tener gran conocimiento sobre las condiciones superficiales, las características de irradiación del horno, los efectos de conversión y otros factores. Estos dependerán en gran medida de la deficiencia de oxígeno determinada para que el horno trabaje. Existe sin embargo un método útil en el diseño basado en la temperatura con que trabaja el horno. La temperatura aproximada de los gases a la salida del horno se puede calcular mediante un balance calorífico a la salida del mismo, igualando los siguientes factores en las entradas y salidas respectivamente: (a) el calor de entrada a la cámara de pirólisis menos la pérdida de calor del horno, la pérdida de humedad de los desechos, la pérdida de hidrógeno, la pérdida de combustible no quemado (en los desechos), y la

transferencia de calor del horno a (b) el calor transportado por los gases al salir del horno. En los hornos de pirólisis no existe acuerdo respecto a la amplitud de la transferencia de calor por convección; es por esto que los diseñadores utilizan coeficientes en la ecuación de transferencia de calor por radiación que consideran los efectos de la convección:

$$q = 0.172A\sigma \left[\left(\frac{T_g + 460}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_F + 460}{100} \right)^4 \right] \quad (3.15)$$

Donde q = *transferencia de calor del horno (Btu/h)*

A = *área efectiva de transferencia de calor*

σ = *capacidad de emisión*

T_g = *Temperatura de la salida del horno °F*

T_F = *Temperatura de la superficie de absorción °F*

El calor requerido por la pirólisis debe proveerse por medios adicionales, pues el principio de la misma requiere deficiencia de oxígeno. Para determinar la cantidad de combustible necesario se puede aplicar la siguiente ecuación utilizada con fines de diseño preliminar:

$$FQ_t = q - \Sigma WC_p(T_g - T_F) \quad (3.16)$$

Donde F = *combustible quemado, lb/h*

Q_t = *poder calorífico del combustible*

W = *peso de los productos (desechos)*

C_p = *calores específicos medios de los desechos*

Entre otros factores esenciales de diseño se encuentran la humedad, y el contenido de material combustible en los desechos sólidos (estudio que podría realizarse en la REE). El carbono y el hidrógeno son los elementos esenciales del combustible durante la combustión de desechos; azufre y otros elementos que se oxidan durante la combustión se encuentran presentes como trazas y no contribuyen de forma significativa al calor de combustión. Los contenidos de carbono e hidrógeno pueden determinarse a partir del análisis de los desechos.

El aire teóricamente requerido se calcula a partir de las reacciones estequiométricas de la combustión, para lo cual se necesita conocer la composición química de los desechos.

3.3 REDUCCIÓN MECÁNICA DEL TAMAÑO

Reducción de tamaño es la conversión de desechos sólidos en pedazos más pequeños mientras estos son recolectados. El objetivo de la reducción de tamaño es obtener un producto final que sea uniforme y considerablemente reducido en su tamaño en comparación a su tamaño original. Es importante mencionar que reducción de tamaño no necesariamente implica reducción del volumen. En algunos casos, el volumen total del material después de la reducción de tamaño puede ser más grande que el del volumen original. Los términos rallar y moler son usados para describir las operaciones de reducción mecánica del tamaño.

Reducción del tamaño es un factor importante no solo en el diseño y operación de los sistemas de manejo de desechos sólidos, sino que en la recuperación de materiales para reuso y para conversión de energía.

En la tabla 3.8 se puede observar los diferentes tipos de equipos y aplicaciones para la reducción mecánica del tamaño.

Tabla 3.8. Diferentes tipos de equipos y aplicaciones para la reducción mecánica del tamaño.

TIPO	MODO DE ACCIÓN	APLICACIÓN
Molinos pequeños	Moler, aplastar	Desechos sólidos orgánicos residenciales.
Picadores	Cortar, tajar	Papel, cartón, pedazos de árboles, desechos de patios, madera, plásticos.
Molinos grandes	Moler, aplastar	Materiales quebradizos y frágiles. Usado principalmente en operaciones industriales.
Trituradores de mandíbula	Triturar, romper	Sólidos grandes.

Tabla 3.8. Diferentes tipos de equipos y aplicaciones para la reducción mecánica del tamaño. (Continuación)

Molinos de raspador	Fragmentar, desgarrar	Desechos sólidos humedecidos. Comúnmente usado en Europa.
Fragmentadores	Cizallar, desgarrar	Todos los tipos de desechos municipales.
Cortadores, cizallas	Cizallar, desgarrar	Todos los tipos de desechos municipales.
Molinos de martillos	Romper, desgarrar, cortar, triturar	Todos los tipos de desechos municipales. Equipo usado más comúnmente para reducir el tamaño y homogenizar los desechos.
Hidropulpador	Cizallar, desgarrar	Idealmente adecuado para usar con desechos de fácil conversión en pasta, incluyendo papel y trozos de madera. Usado principalmente en la industria del papel.

Los datos típicos de potencia requerida para trituración son dados en la figura 3.5 estos datos son obtenidos mediante un análisis con datos técnicos de los constructores, y también de un análisis de instalaciones actuales.

Existen valores conservativos de 10HP*h/Ton y 20HP*h/Ton que se usan como potencias bases, con lo cual se puede encontrar la potencia requerida.

$$Potencia\ Requerida = Cantidad\ de\ desechos\ producida\ por\ hora * Potencia\ base \quad (3.17)$$

A esta potencia requerida es necesario multiplicar por un factor de tamaño del producto, estos valores se pueden observar en la Tabla 3.9.

$$Potencia\ Final = Potencia\ Requerida * Factor\ de\ Tamaño\ del\ Producto \quad (3.18)$$

Tabla 3.9. Valores que se usan para el factor de tamaño del producto de alimentación.

Factor de Tamaño del Producto de Alimentación	
Producto de 6pulg	1.00
Producto de 4pulg	1.39
Producto de 2pulg	1.64
Producto de 1pulg	2.38

Fuente: George Tchobanoglous; Solid Waste Management, Cap. 8 Processing Techniques and Equipment; 1998

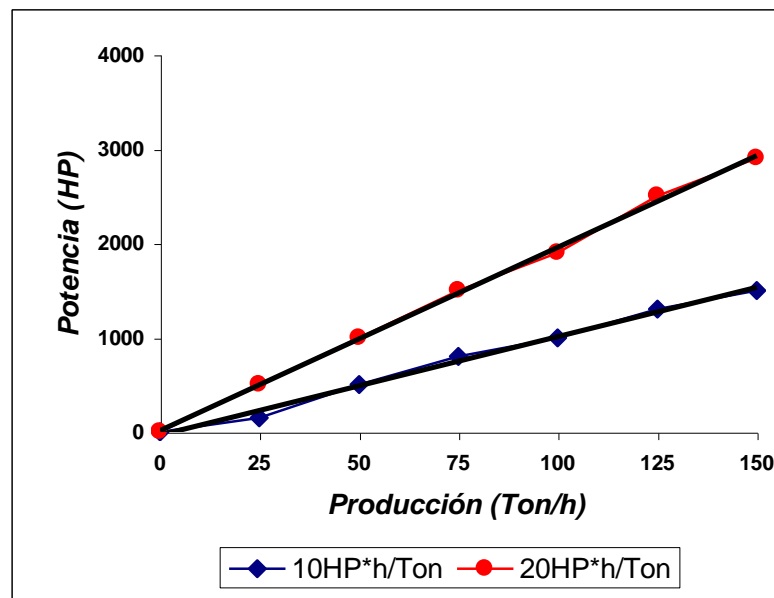


Figura 3.5. Potencias requeridas para reducir de tamaño varios desechos sólidos.

Tomando en cuenta la Tabla 1.2, los desechos sólidos que pueden someterse a un procedimiento de trituración con sus respectivos volúmenes se aprecian en la Tabla 3.10:

Tabla 3.10. Clasificación de los desechos de la REE que pueden ser objeto de trituración.


Código	Clase de desecho sólido	Volumen (m³ /año)
B0046	Desechos domésticos orgánicos	228
B3010	Desechos de plástico	1.5
B3020	Desechos de papel y cartón	60
SC	Recipientes de vidrio y otros	1
	TOTAL	290.5

De acuerdo al trabajo de campo realizado en la refinera se estimó que el volumen diario de estos desechos (alimentos, papelería, plásticos, lámparas y luminarias, etc) se encuentra alrededor de los 5m³; y considerando una densidad promedio de 130.53 kg/m³ ⁽⁸⁾, el peso aproximado es de 650 kg. El volumen de desechos generado por hora es muy bajo, y su peso es inferior a 1 Ton/h, por tanto comparando en la Tabla 3.5 la producción por hora de desechos y la potencia en requerida en HP, se establece que para manejar este volumen de desechos se requiere una triturador de pequeña capacidad, como la que a continuación se sugiere con las siguientes características.

Esta unidad comercial es un Modelo 400 triturador de desechos sólidos, con dos motores de 200HP, 390 RPM de velocidad del rotor; una entrada de alimentación de 72", 52½" de diámetro del rotor con 32 cuchillas en el anillo.

⁸ George Tchobanoglous, Solid Waste Management; Cap. 4, Generation of Solid wastes; 1998.

Tabla 3.11. Características técnicas del triturador.

	MODELO	No. Motores	RPM del rotor	Entrada de alimentación	Diámetro del rotor
	400	2 (200HP)	390	72"	52½" (32 cuchillas)
	<p>Esta maquina ha sido diseñada para triturar todo tipo de desechos industriales, madera, cartón, motores eléctricos pequeños, llantas, y una variedad de desechos municipales.</p>				

3.4 SEPARACIÓN DE COMPONENTES

La separación de componentes es una operación necesaria en la recuperación de recursos de los desechos sólidos donde los productos de conversión son recuperados de los desechos procesados (Suelo contaminado). En la REE se trata de separar manualmente la mayor cantidad de desechos sólidos, tanto en las áreas administrativas (papel, cartón, plástico) como en las Unidades Operativas.

Como métodos de tratamiento para desechos sólidos en la refinería que pueden considerarse dentro de la separación de componentes, y que mundialmente tienen gran aceptación en las prácticas de la industria petrolera se encuentran el biotratamiento de suelo contaminado por petróleo (o Landfarming) y la Fijación Química de desechos peligrosos.

3.4.1 LANDFARMING

El tratamiento de tierras, también conocido como biotratamiento de terrenos, biodegradación del suelo, o Landfarming, es un método que emplea bacterias del suelo que se hallan en estado natural para lograr la biodegradación de hidrocarburos de petróleo, lodos aceitosos o biológicos que han sido aplicados a la superficie del suelo en un proceso controlado. Es un proceso relativamente simple, razonablemente económico y puede manipular la mayoría de lodos y suelos contaminados que se encuentran en una refinería.

En la refinería de Esmeraldas en la actualidad se ha tratado de implementar un procedimiento de Landfarming tipo “batch” para todos los desechos contaminados con crudo o sus derivados. Estos desechos están conformados por lodos y suelo de los cuáles los hidrocarburos no pueden ser recuperados o reprocesados, y se mencionan a continuación:

- Lodos provenientes de los tanques de almacenamiento (Unidad de SETRIA).
- Lodos depositados en canaletas y sistema de efluentes.
- Lodos de hidrocarburos de las unidades operativas.
- Grama impregnada con aceite.
- Piedra y arena contaminada con aceite.

Durante la operación de Landfarming los materiales contaminados son esparcidos en una superficie de suelo, o son extraídos del lugar y apilados sobre una superficie impermeable (geomembrana) para evitar contaminación de las capas de suelo que se encuentran por debajo. Los microorganismos naturales del suelo (bacterias, hongos, protozoarios) crecen en el material usando el contaminante como fuente de alimento, transformándolo en productos inocuos. Este proceso debe estimularse, monitorearse y controlarse mediante los siguientes parámetros:

- Mezclado (rastreo).
- Sistema de colección de lixiviados (arena o grava).
- Cubierta impermeable del suelo (arcilla o geomembrana).
- Contenido de humedad (irrigación de agua).

- Nivel de oxigenación (rastreo o ventilación forzada).
- Nutriente (se añaden Macro elementos según la necesidad).
- pH (se controla con la adición de soluciones de amortiguamiento).
- Capacidad de carga de aire del suelo (agentes voluminizantes de ser necesarios).
- Temperatura (se monitorea y pudiera controlarse con agua asperjada generalmente).

El Landfarming puede utilizar equipos agrícolas comerciales tales como tractores, arados, mangueras de riego, y aspersores rotativos. Esta tecnología requiere de extensas áreas abiertas donde dispersar el material para crear las unidades de tratamiento, y estas áreas deben ser preparadas para que tengan un drenaje adecuado, acceso de los equipos y para el manejo de los materiales. El área de disposición de desechos en la REE cumple estas características.

El Landfarming ha sido exitoso en el tratamiento de los hidrocarburos de petróleo tales como combustible diesel, aceites combustibles No. 2 y No. 4, JP-5, lodos en base a aceite, hidrocarburos policíclicos aromáticos (HAPs y creosote), desechos de coque etc. La eficacia del tratamiento es menor a medida que se incrementa el peso molecular de los contaminantes a ser degradados. También los compuestos clorados, o nitrogenados son por lo general difíciles para degradar.

“Para reducir el área requerida para la tierra de cultivo, y ahorrar costos, el contenido de petróleo de los desechos no debe exceder el 15%.”⁹

3.4.1.1 Productos resultantes del proceso de Landfarming

El procedimiento de LANDFARMING puede generar tres corrientes de productos que ameritan un manejo adecuado:

- Aguas de desecho (puede requerir tratamientos adicionales).
- Suelos u otros materiales tratados.
- Emisiones volátiles del suelo rastreado.

⁹ Publicación API 4455, “Land Treatability of Appendix VIII Constituents Present in Petroleum Refinery Wastes: Laboratory and Modeling Studies”.

En primera instancia, se debe determinar las concentraciones de contaminantes presentes en el medio contaminado, tomando muestras de modo sistemático.

El suelo a tratarse tendrá una capa superficial que no exceda los 40 centímetros de espesor para asegurar una óptima oxigenación, factor fundamental de toda biodegradación.

Posteriormente se procede a la siembra de microorganismos endémicos de la zona, con una capacidad comprobada para la degradación de hidrocarburos y sus derivados.

Conjuntamente con éstos se colocan nutrientes que aseguran la reproducción de la población microbiana y la biodegradación de los contaminantes.

Es imprescindible que este proceso sea monitoreado constantemente a fin de que los parámetros físico-químicos y microbiológicos constaten el nivel de oxidación necesario para un buen resultado del proceso. Entre los factores que se controlan está la población bacteriana, concentración de nutrientes, enzimas, coenzimas y minerales; disponibilidad de oxígeno, temperatura, contenido de humedad y potencial hidrógeno.

3.4.1.2 Proceso Biológico

Antes de abordar los requisitos para la construcción y funcionamiento de una instalación destinada al tratamiento de tierras ("tierra de cultivo") es necesario, en primer lugar, describir el proceso que se emplea para descomponer el petróleo.

El índice de biodegradación es una función de la concentración de desechos, su estructura química, cantidad de oxígeno y, a un nivel relativamente menor la cantidad de nutrientes (fósforo, nitrógeno, azufre y vestigios de metales como potasio, hierro, sodio, etc.). Después del oxígeno, el agua es el factor más importante, pues las bacterias son acuáticas y el proceso se realiza mediante el transporte de los hidrocarburos solubilizados hacia las bacterias. Además, el agua se lleva los productos de desechos tóxicos. Sin embargo, se detendrá el proceso con un contenido de agua demasiado elevado. "El mejor contenido de

humedad es de 40-80%”,¹⁰ aunque se han realizado experiencias para degradar hidrocarburos con suelos semiáridos obteniendo muy buenos resultados. (Para mayor información remitirse al paper “Bioremediation of oil refinery sludge by landfarming in semiarid conditions: Influence on soil microbial activity” de J.A. Marín, T. Hernández, C. García)

El rango de pH óptimo es 6-8. Las condiciones demasiado ácidas tienden a aumentar la solubilidad de metales y la posibilidad de contaminación de las aguas del subsuelo. Asimismo, puede disminuir la actividad bacteriana. Es posible que sea necesario añadir piedra caliza a los suelos ácidos. Es preferible que las temperaturas del suelo fluctúen entre 18-32°C: sobre los 40°C las bacterias mueren rápidamente.

El trabajo de campo ha demostrado que las enzimas y bacterias de suelo que se hallan en estado natural son con frecuencia tan efectivas como las poblaciones especialmente producidas, particularmente una vez que ya se han aclimatado a los desechos (alrededor de un mes).

La biodegradación de mezclas de hidrocarburos se realiza secuencialmente.

Los hidrocarburos volátiles desde la gasolina hasta los crudos, fenoles y aromáticos polinucleares de hasta 2 anillos son degradados de manera muy efectiva mediante este método (en la práctica, sólo la mitad del petróleo se destruye biológicamente, el resto es removido por evaporación). La destrucción de compuestos aromáticos es una función del número de anillos. Los aromáticos más complejos son insolubles y se combinan con el suelo, y debido a un fenómeno de transporte las bacterias acuáticas son ineficientes con ellos. En ese caso, es necesario añadir surfactantes.

Los compuestos halogenados normalmente se degradan anaeróbicamente. Los PCB con cloración elevada son parcialmente dechlorados bajo condiciones anaeróbicas y posteriormente reducidos aeróbicamente. Se halla en estudio el empleo del hongo blanco de podrición para descomponer moléculas complejas como el benzopireno y los PCB con el fin de que éstas puedan atravesar las paredes celulares de las bacterias. La Figura 3.6 a continuación explica las

¹⁰ Unidad de Protección Ambiental PetroIndustrial; Manual de desechos sólidos, líquidos y gaseosos, Guías de procedimientos y Comportamiento Ambiental.

variables que intervienen en el proceso de Landfarming y cómo funciona el mismo: ¹¹

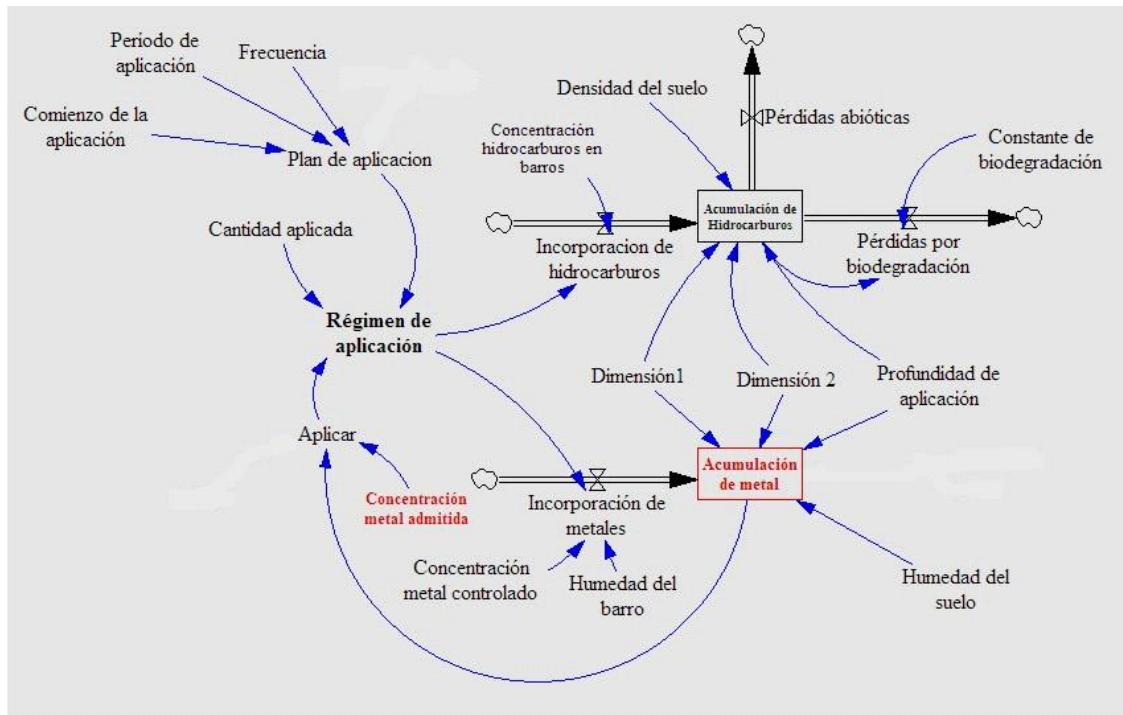


Figura 3.6. Variables que intervienen en el proceso de landfarming.

Se han elegido dos variables a controlar: la concentración total de hidrocarburos (no se discriminan hidrocarburos de petróleo, puesto que los análisis previos muestran un nivel muy bajo, menor a 20 ppm) y la presencia de metales pesados, ya que los mismos no se degradan y se debe evitar un aumento de concentración que sobrepase los límites fijados por la legislación vigente tanto en el ámbito nacional como provincial.

Ambas variables están representadas en los niveles Acumulación de hidrocarburos y acumulación de Metal, donde se supone haber elegido el metal más crítico, es decir, el que más rápidamente alcanzaría los límites establecidos.

La incorporación de hidrocarburos depende de la concentración de hidrocarburos en barros y del régimen de aplicación, y su concentración en el suelo queda determinada por las dimensiones y características de la parcela elegida (Dimensión1, Dimensión2, Profundidad de aplicación y Densidad del

¹¹ Mario Guido Pérez; Simulación dinámica del proceso de Landfarming.

suelo). Esta concentración no crece indefinidamente puesto que hay dos mecanismos por los cuales se pierde parte de los hidrocarburos: Pérdidas abióticas (es decir aquellas no vinculadas a mecanismos de biodegradación (tales como evaporación) y las pérdidas por biodegradación.

El término vida-media es usado para indicar la persistencia de un químico en el suelo. La vida-media del compuesto es el tiempo requerido para que la concentración del mismo decrezca a la mitad de su valor inicial. La vida media puede ser determinada a partir de ecuaciones cinéticas de primer orden si se conocen las constantes de primer orden para los constituyentes del desecho. De manera similar también se puede estimar el tiempo requerido para que el compuesto disminuya al 1% de su nivel inicial.

Una de las teorías más aplicadas en la práctica, ha estimado que la degradación de muchos químicos en el suelo seguirá una reacción de primer orden, considerando que la concentración del químico que se está degradando es baja comparada relativamente con la actividad biológica en el suelo.¹²

Esta reacción se explica mediante la ecuación:

$$\frac{dC}{dt} = -kC \quad (3.19)$$

Por lo tanto en todo momento la velocidad de degradación es proporcional a la concentración del desecho presente. Si la tasa de degradación es conocida a una temperatura específica, las tasas de degradación para otras temperaturas se pueden estimar de la siguiente relación:

$$k_{T_2} = k_{T_1} \theta^{(T_2 - T_1)} \quad (3.20)$$

Donde θ = factor de corrección de temperatura igual a 1.08¹³

T_1, T_2 = temperaturas en °C

k_{T_1}, k_{T_2} = tasas de descomposición específicas a las temperaturas correspondientes.

¹² Estudios de Kaufman; 1983.

¹³ Overcash and Pal; 1979.

Esta ecuación es solo una aproximación. Sin embargo, dado el limitado rango de temperaturas encontrado en el suelo, la misma puede utilizarse con fines prácticos.

La Tabla 3.12 ilustra el tiempo (t) requerido para degradar una concentración inicial (C_o) a una concentración de 0.01 ppm (C_t) basados en diferentes constantes cinéticas. La concentración de 0.01 ppm (10 ppb) fue seleccionada porque este valor está en el rango de las concentraciones permisibles para varios orgánicos en suelos que no contienen HAPS, específicamente benzopireno.

Tabla 3.12. Tiempo (días) requerido para degradar una concentración inicial de contaminante (desecho) a 0.01 mg/kg basados en diferentes constantes cinéticas.

C_o (mg/kg)	C_t (mg/kg)	C_t/C_o	k_a (día ⁻¹)				
			0.0001	0.001	0.01	0.1	0.5
			Tiempo en días (t)				
10.000	0.01	-13.815	138.150	13.815	1.381	138	27.6
1.000	0.01	-11.513	115.100	11.510	1.150	115	23
100	0.01	-9.210	92.100	9.210	912	91	18.4
10	0.01	-6.908	69.080	6.908	691	69	14
1	0.01	-4.605	46.050	4.605	460	46	9

Fuente: Publicación API 4455, "Land Treatability of Appendix VIII Constituents Present in Petroleum Refinery Wastes: Laboratory and Modeling Studies".

k_a = Constante de vida-media biológica

3.4.1.3 Selección del Emplazamiento

Al ubicar un lugar para el cultivo de tierras en la propiedad de la refinería, el emplazamiento debe encontrarse lejos de zonas residenciales, vías de drenaje y áreas sujetas a inundaciones por temporadas.

Además de las restricciones previas, si el emplazamiento tiene una ubicación central para recibir desechos procedentes de varias refinerías, éste no deberá estar cerca de bosques ni de tierras agrícolas primarias, pantanos y hábitat de fauna importantes.

Para ubicar una matriz eficiente de pozos para el monitoreo de las aguas del subsuelo, es necesario revisar la hidrogeología de la región en un radio de tres kilómetros del emplazamiento propuesto, tomando en cuenta la litología, la ubicación de los pozos de agua y el rendimiento de la capa acuífera.

El terreno debe tener una ligera pendiente con el fin de evitar la acumulación de agua. Si el talud es mayor que 4% (máximo 9%) el emplazamiento deberá estar distante de los cursos de agua y recibir índices reducidos de aplicación de desechos.

Podría emplearse un emplazamiento nivelado o terraplenado para proporcionar un buen drenaje de superficie, así como control de escorrentía.

Es preferible un suelo fértil. Los suelos arcillosos tienden a retener agua, pero excluyen el oxígeno. Al mismo tiempo, son difíciles de labrar. Los suelos arenosos o limosos provocan la lixiviación de metales pesados.

La profundidad máxima de la zona de tratamiento debe hallarse, por lo menos, a 1 o 2 metros sobre la capa freática.

Deberá producirse un período libre de hielo de aproximadamente 100 días y de por lo menos 60 días cuando la temperatura se encuentre por encima de los 10°C.

3.4.1.4 Diseño del Emplazamiento

Deberán existir instalaciones apropiadas para el almacenamiento de desechos durante los períodos de frío y lluvia en el año. Esto puede lograrse empleando una fosa revestida, un tanque de acero o depósito de hormigón. Las instalaciones de almacenamiento deben ser inspeccionadas en forma rutinaria con el objeto de verificar que no existan fugas. Las instalaciones no deben presentar problemas de olores.

El diseño y operación deben tener en cuenta los problemas ambientales en potencia, tales como el polvo y los olores. Entre las técnicas para eliminar/reducir estas amenazas se encuentran el pretratamiento de los desechos, inyección directa al suelo, labores de cultivo inmediato después de la aplicación de desechos y una zona tampón en el área circundante. El acceso a la tierra de cultivo debe limitarse sólo al personal autorizado.

Los pozos de observación para el monitoreo de aguas del subsuelo deben ser colocados hidráulicamente aguas arriba y aguas abajo del terreno de biotratamiento para determinar la calidad natural (o línea de base) del agua del subsuelo. La profundidad de dichos pozos de observación debe permitir proporcionar información acerca del posible impacto sobre el manto acuífero superior. Es preferible que cada estación de muestreo tenga pozos a diferentes profundidades en la zona de aguas del subsuelo.

El número y ubicación de los pozos de observación son específicos del emplazamiento debido a la hidrogeología local. Como regla general, los pozos deben tener un espaciamiento de 200 m según coordenadas de la cuadrícula y los materiales de la superficie/lecho de roca de todo el emplazamiento deberán detallarse a una profundidad de por lo menos 6 metros.

Para asegurar un número y ubicación convenientes de los pozos, (así como una evaluación previa exacta del emplazamiento), esta fase del trabajo debe ser conducida o supervisada por personal que posea experiencia en investigaciones de aguas del subsuelo, un hidrogeólogo de preferencia.

Se evitará la escorrentía de las aguas superficiales (hacia el emplazamiento de la tierra de cultivo) mediante el uso de estructuras de derivación que rodeen el emplazamiento. Se recomienda que la dimensión de estas estructuras permita resistir una descarga máxima de 24 horas un periodo de 10 años.

La escorrentía de aguas superficiales (procedente del emplazamiento de la tierra de cultivo), antes de ser descargada a la cuenca hidrográfica circundante debe cumplir con los siguientes criterios recomendados: “demanda química de oxígeno de 50 mg/l; aceite y grasa de 10 mg/l; pH de 6.5-8.5. El emplazamiento para la tierra de cultivo debe poder resistir el volumen de escorrentía resultante de una tormenta de 24 horas ocurrida en los últimos 10 años.”¹⁴

Podrían necesitarse tubos de arcilla para mejorar el drenaje. Deberá haber un punto bajo en el emplazamiento terminado con el fin de recolectar la escorrentía superficial. En condiciones normales, la escorrentía superficial contendrá cantidades muy pequeñas de petróleo o una película iridiscente visible. Esta agua puede ser tratada en el sistema de tratamiento para aguas residuales.

¹⁴ Publicación API 4379, “The Land Treatability Of Appendix VIII Constituents Present Petroleum Industry Wastes”.

A continuación en la Figura 3.7 se muestra la piscina de Landfarming existente en la refinería de Esmeraldas:

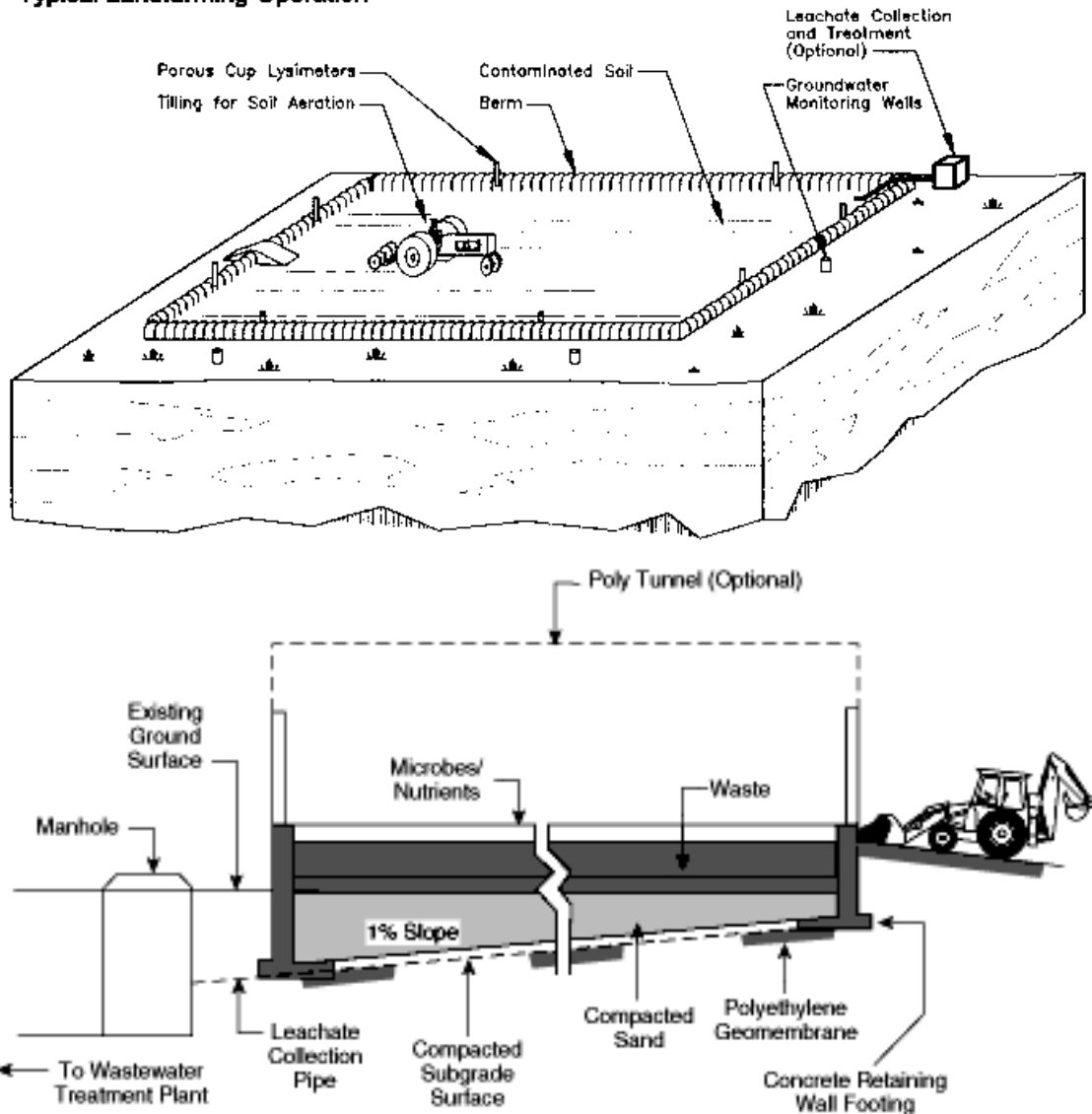


Figura 3.7. Piscina de landfarming utilizada en la REE.

Se observa la presencia de una geomembrana a fin de evitar las filtraciones de lixiviados hacia el subsuelo. Sin embargo el proceso no posee bioestimulación a fin de hacerlo más rápido y eficiente.

Un esquema de la operación de un tratamiento de Landfarming con sus componentes se observa a continuación en la Figura 3.8:

Typical Landfarming Operation



4-12 94P-2114 8/22/94

Source: TreaTek-CRA

Figura 3.8. Operación típica de un Landfarming con sus componentes principales.

Fuente: TreaTek-CRA

En la parte superior se pueden observar la geomembrana (Berm), los lisímetros para aereación, el pozo de monitoreo de aguas subterráneas y el sistema de colección de lixiviados. En la parte inferior se observa la distribución de las capas al interior de la piscina de landfarming.

3.4.1.5 Aplicación de Desechos

Los índices de aplicación de desechos no deberán exceder la capacidad de asimilación del sistema de suelos para el componente limitante de desechos. La cantidad total aplicada de desechos no debe poner en peligro el futuro aprovechamiento de la tierra. En condiciones ideales, pueden degradarse en una temporada hasta 230 m³ de desechos por hectárea, según la temperatura del suelo, composición del petróleo, tipo de suelo, etc.

Los lodos con petróleo no deberán exceder, en muestras representativas, un promedio de 5% por peso de petróleo en los 15 cm de la parte superior del suelo subsecuente al cultivo. (Sobre niveles de petróleo de 10%, algunos suelos se vuelven hidrofóbicos convirtiéndose la disponibilidad de oxígeno en un factor limitante.)

No deben aplicarse desechos cuando el suelo esté saturado con agua, cubierto de hielo, nieve o congelado.

Generalmente, los desechos se aplican empleando un camión dotado especialmente de un conducto horizontal de distribución. Para el biotratamiento de terrenos relativamente pequeños, puede emplearse una manguera para incendios conectada a un sistema fijo de tuberías. El objetivo principal es lograr una aplicación uniforme de los desechos.

Es probable que los lodos más pesados deban ser transportados al emplazamiento en un camión volquete y distribuidos mediante una cuchilla niveladora o un bulldozer.

Si los olores constituyen un problema, los lodos pueden ser inyectados unos centímetros debajo del suelo, pero en ese caso se requerirá equipo especial.

El lodo se distribuye mejor en la tierra de cultivo, en tres o cuatro aplicaciones, durante la temporada en vez de realizarlo en una sola aplicación.

La frecuencia de remoción de la tierra generalmente es de una por cada vez que se aplica desechos. Las instalaciones que operan con altas tasas de aplicación de lodos (como la REE) pueden realizar este procedimiento 2 o 3 veces por vez que se aplican nuevos desechos a fin intensificar la aireación y el contacto entre los desechos y el suelo.

En la literatura se encuentran una variedad de términos para identificar la cantidad de lodos/petróleo aplicados en un sitio de Landfarming. La convención

estándar es indicar las tasas de aplicación superficial en barriles de crudo por acre, y tasas de aplicación volumétrica (considerando la zona de incorporación) en porcentaje de petróleo en el suelo o libras de petróleo por pie³ de suelo. A fin de realizar las transformaciones métricas adecuadas se tiene:

$$\text{Barriles/acre} \times 0.393 = \text{metros}^3/\text{hectárea}$$

$$\text{Libras/ft}^3 \times 0.062 = \text{kilogramos/metro}^3$$

La Figura 3.9 ilustra la relación entre la profundidad de incorporación del desecho (lodo, petróleo, suelo contaminado), la tasa de aplicación superficial, y las tasas de aplicación volumétricas. Puede observarse que una tasa de aplicación de 400 barriles de petróleo por acre aproximadamente equivalen a 5.8 lbs de petróleo por ft³ o un 7.2% de petróleo en el suelo a una profundidad de incorporación de 6 pulgadas.

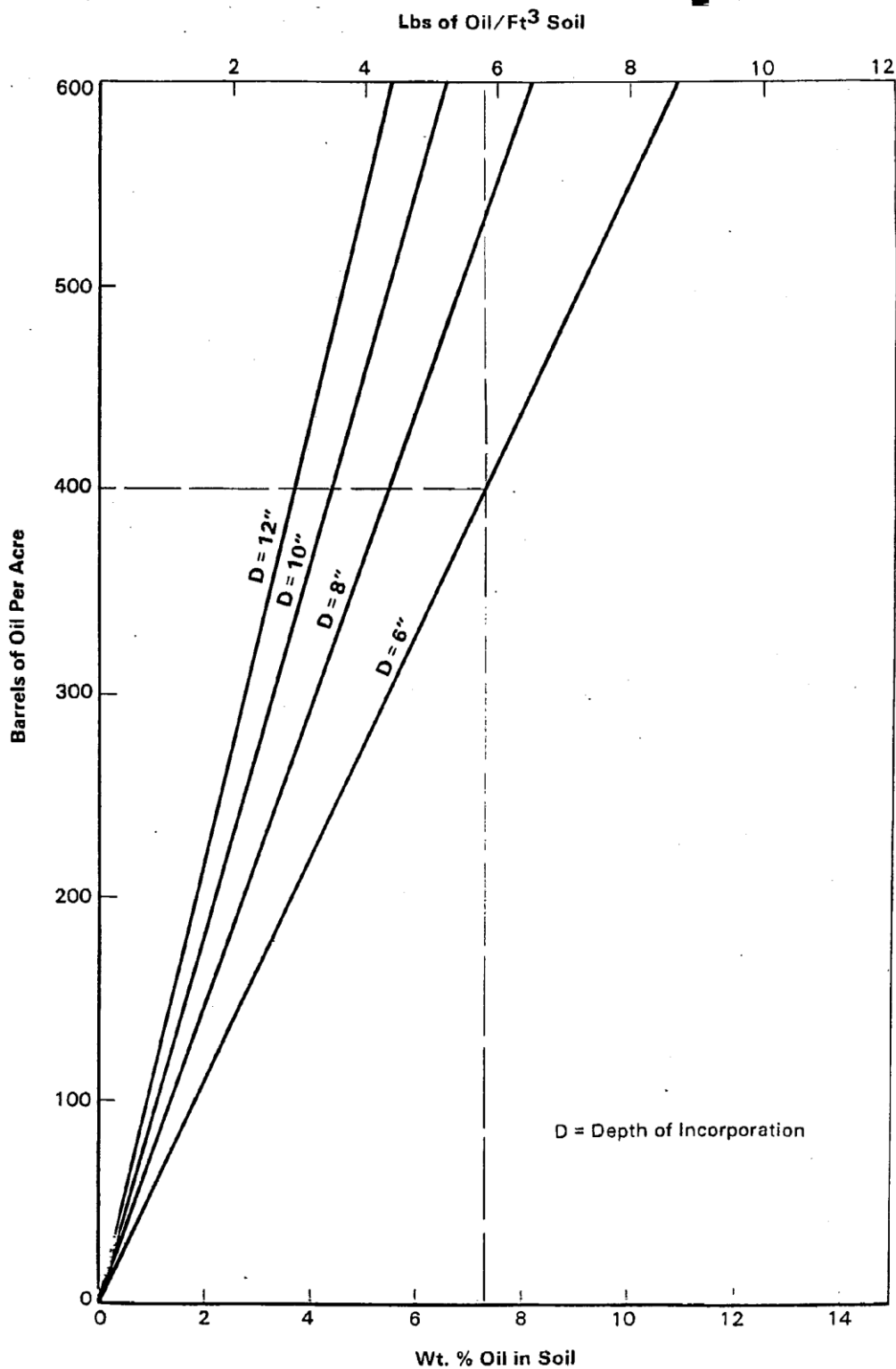


Figura 3.9. Tabla para determinar las tasas de carga superficial y volumétrica para varias profundidades de incorporación, en un suelo de densidad 80 lb/ft³.¹⁵

¹⁵ Publicación API 4379, "The Land Treatability Of Appendix VIII Constituents Present in Petroleum Industry Wastes".

3.4.1.6 Parámetros de Operación

La disponibilidad de oxígeno es de extrema importancia, especialmente para los suelos arcillosos. Esto puede lograrse mediante la remoción de tierra con arado de discos, rastrillaje, etc. Un método común consiste en adherir un arado rotatorio a la parte posterior de un tractor agrícola. El empleo de un protector para el arado rotatorio contribuirá a reducir la generación de polvo.

El arado debe realizarse aproximadamente cada dos semanas hasta que el nivel de petróleo en los 15 cm superiores disminuya a 2 o 3%. En adelante, la operación deberá realizarse cada 2 o 4 semanas.

Aditivos como cal o fertilizantes deben aplicarse en forma creciente y las veces que sean necesarias para mantener el pH del suelo y la capacidad de intercambio de cationes dentro de los rangos aceptables, así como para asegurar un suministro adecuado de nutrientes a las bacterias.

3.4.1.7 Monitoreo

Antes de utilizar la tierra de cultivo, debe determinarse la calidad de fondo del agua en el subsuelo y aguas superficiales en la posible zona de influencia basándose, por lo menos, en el muestreo trimestral durante un período de un año.

Antes de realizar el muestreo, habrá de registrarse el nivel de agua en los pozos de observación, a los que se purgará el agua estancada en la tubería de revestimiento y en la parte adyacente, con el fin de que la muestra sea representativa.

Las muestras de aguas del subsuelo se tomarán de los pozos por lo menos dos veces al año, de preferencia con más frecuencia, durante la operación de la tierra de cultivo.

Antes de iniciar el tratamiento de desechos, habrá de probarse una muestra compositiva del suelo superficial, sobre la base de 20 muestras espaciadas uniformemente por hectárea de la tierra de cultivo y tomada desde una profundidad de 0-15 cm. Con respecto a las trazas de metales, deben determinarse tanto las concentraciones totales como las de lixiviado.

Antes de la operación, deben tomarse muestras de sondeo de cuatro ubicaciones espaciadas uniformemente por hectárea de tierra de cultivo. Las muestras se dividirán en secciones (profundidades: 0-15 cm, 15-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm) y combinadas para formar muestras compuestas para cada profundidad.

Deben realizarse pruebas periódicas de muestras superficiales y de sondeo del suelo, por lo menos, una vez al año aunque sería preferible hacerlo con mayor frecuencia. Los huecos deben ser sellados para minimizar las posibles vías de acceso para la migración de los contaminantes.

Las pruebas analíticas en muestras de suelo y aguas de subsuelo deben realizarse según el(los) método(s) prescrito(s) o aprobado(s) por los organismos de control del estado.

Además de los análisis de suelo y de aguas del subsuelo, el encargado de una instalación para biotratamiento debe llevar registros de las emanaciones de COV's producidas durante este proceso aeróbico. Deben detallarse las cantidades, ubicación y características físicas/químicas de los desechos tratados en el emplazamiento.

Deberá realizarse una evaluación estadística de la información para mostrar cualquier cambio importante de los valores iniciales en términos estadísticos.

3.4.1.8 Variaciones en el Biotratamiento

El biotratamiento es un proceso biológico relativamente lento. La velocidad de degradación puede aumentar mediante el compostaje. El material a ser biodegradado es mezclado con materiales, tales como viruta o paja, con el fin de aumentar la porosidad. Estos agentes también ayudarán a disminuir la concentración de materiales tóxicos. La aireación se logra mediante el uso de ventiladores o remoción mecánica. Los índices de descomposición pueden ser muy altos debido a la generación de temperaturas elevadas, lo cual puede dar como resultado una deficiencia de oxígeno. La poca ventilación y mezcla pueden provocar condiciones anaeróbicas que produzcan ácidos y metano. La cal es necesaria para controlar el pH.

Grandes volúmenes de suelos contaminados se pueden corregir con mayor rapidez aplicando la biocorrección optimizada, algunas veces llamada biopila.

El material por tratar es colocado en montículos o pilas y los nutrientes se añaden a través de tubos múltiples. El flujo de oxígeno es inducido empleando un múltiple similar. Si la pila es profunda, puede haber varias capas de tubería. Se agrega la humedad necesaria. Para evitar la contaminación del área circundante, las pilas pueden ser colocadas en revestimientos plásticos o lozas de concreto. Los diques que rodean la pila controlarán los lixiviados y la esorrentía. Con frecuencia se colocan lonas impermeables sobre el suelo para reducir las emisiones gaseosas. Algunas jurisdicciones exigen tratamiento del gas producido.

Se pueden utilizar varios productos que incrementan la eficiencia del proceso de landfarming, que se encuentran en el mercado, como el Biomatrix Gold. Este producto comúnmente usado en EE.UU. y Canadá, ha sido probado experimentalmente y los resultados han sido más efectivos y beneficiosos. El proceso consiste en mezclar el Biomatrix Gold con el aceite y/o petróleo con lo cual el Biomatrix absorberá a los hidrocarburos, para que así las bacterias empiecen a biodegradar en un tiempo menor que el landfarming normal. Según experimentaciones el tiempo de residencia es de alrededor de 10 semanas, y los factores de eliminación del petróleo son bien bajos, es decir, casi nulos.

En la Figura 3.10 a continuación se observa el efecto favorable que tiene añadir un producto como el mencionado a un sitio de biotratamiento:





Figura 3.10. Efectos de utilización de Biomatrix Gold en área de biotratamiento.

3.4.2 FIJACIÓN QUÍMICA

La estabilización o fijación es el proceso mediante el cual se detoxifica, inmoviliza, insolubiliza o se reduce la peligrosidad de un residuo. Se logra este efecto generalmente a través de una reacción química entre uno o más componentes del residuo y una matriz sólida. Se utiliza este proceso para tratar desechos sólidos peligrosos a fin de dejarlos en condiciones aptas para su disposición en el suelo.

El mecanismo químico de fijación no es conocido del todo, sin embargo existen indicadores que el pH relativamente alcalino favorece a que los metales pesados precipiten como hidróxidos insolubles y quedan inmovilizados dentro de una matriz sólida.

Mediante este proceso, los contaminantes quedan total o parcialmente confinados por la adición de un medio soporte aglomerante u otros modificadores con el fin de:

- Mejorar el manejo y las características físicas del residuo.
- Minimizar la velocidad de migración de los contaminantes al medio ambiente.
- Reducir el nivel de toxicidad.
- Disminuir la superficie a través de la cual puede tener lugar la transferencia o pérdida de contaminantes.
- Limitar la solubilidad de cualquier contaminante presente en el residuo.
- Reducir la toxicidad de los contaminantes.

El resultado es un bloque sólido de desecho tratado con integridad estructural.

Las variaciones de este proceso son la solidificación, la estabilización y la encapsulación (aunque en el último proceso no se puede producir un núcleo sólido). El resultado final de todas estas técnicas es el mismo: hacer que un desecho que se va a disponer en el suelo sea seguro.

No todos los desechos pueden someterse a la fijación química. El contenido orgánico máximo está en la escala de 10-20%. La materia orgánica interfiere con el proceso de adhesión. Esto no es una preocupación para aplicar este tratamiento a algunos de los desechos sólidos producidos en la REE como catalizadores gastados de la unidad FCC, material vítreo proveniente del dispensario médico, y sulfuro de hierro.

Algunos compuestos inorgánicos, tales como las sales solubles de manganeso, el estaño, cinc, cobre y plomo pueden afectar el tiempo de solidificación y la resistencia del bloque final. Los procesos que utilizan materiales puzolánicos muestran una mayor capacidad para manejar niveles moderados de materia orgánica y más tolerancia a ciertos metales pesados que los procesos que utilizan cementos.

A pesar de las restricciones antes señaladas, la fijación química se está convirtiendo rápidamente en un medio aceptado para la manipulación de desechos.

A fin de abaratar costos, este proceso se puede aplicar utilizando las celdas de concreto para desechos peligrosos que se encuentran en el área de disposición

de desechos en la REE. Aprovechando que los desechos están almacenándose de manera tal que se evitan las mezclas incompatibles, pueden dosificarse en las celdas productos químicos para causar una precipitación, neutralización o detoxificación. Para neutralizar un desecho ácido, se puede emplear la sosa cáustica.

Los productos químicos con base de cemento tienen la ventaja de que pueden mezclarse en una mezcladora de cemento cuando se les conduce a un relleno; este paso debería ocurrir antes de la disposición en la celda de confinamiento para cada desecho; sin embargo la mezcla podría efectuarse in situ utilizando equipo de seguridad y herramientas adecuadas. En todos los casos, la mezcla se vertería en las celdas de confinamiento (que hacen la vez de moldes), se deja fraguar y, luego se debería sellar.

Se debe considerar que la mezcla del desecho con los agentes adherentes genera, aproximadamente, el doble del volumen que se va a manipular; sin embargo representa una garantía que no se presentarán problemas de contaminación a futuro.

Existe una gran cantidad de productos químicos que se utilizan como agentes adherentes. El cemento Portland, a menudo junto con aditivos (muchos de ellos patentados) para mejorar las características del desecho, se utiliza en muchos de estos procesos habiéndose generalizado su uso. Dependiendo del desecho y los aditivos, el primero se adhiere física y/o químicamente con el cemento. El agua adicionada reacciona con el cemento para formar compuestos hidratados de silicato y aluminato mientras que el residuo sólido actúa como un agregado para formar concreto. El tipo y la composición del residuo de desecho determinarán la cantidad óptima y el tipo de cemento utilizado, el aditivo, la cantidad de agua que se requiere y la resistencia del concreto final. Por esto se recomienda que el laboratorio de la unidad de Protección Ambiental de la refinería analice los desechos a fin de optimizar este tratamiento.

Los aditivos más comunes para las mezclas de cemento Portland/desechos y sus ventajas son los siguientes:

- La cal mejorará el proceso de endurecimiento (fraguado) para algunos desechos y generará un producto mejorado.
- La arcilla, siendo un material silíceo, disminuirá la lixiviación de la matriz solidificada, bajo circunstancias apropiadas.

- Los silicatos solubles, normalmente de sodio y potasio, se utilizan con una variedad de desechos. Algunas veces, se añaden reactivos. El resultado es un aglutinado rápido que solidifica fuertemente, el cual previene la formación de agua libre en la superficie y disminuye la lixiviación.
- La ceniza fina es un material silíceo y, bajo circunstancias apropiadas, disminuirá la lixiviación. Más aún, por sí misma la ceniza fina no sólo es un desecho si no que reemplaza una parte del cemento que normalmente debería utilizarse.
- Algunos procesos están basados en la cal, en lugar del cemento. Para solidificar en un "concreto", la cal debe reaccionar con agua y un material silíceo de grano fino. Dos materiales comunes de este tipo son la ceniza fina y la arcilla. Muchos de los procesos que utilizan mezclas de cal/ceniza fina también emplean aditivos y procedimientos operativos patentados.

A continuación en la Figura 3.11 se presenta un diagrama esquemático del proceso. El primer paso puede incluir la adición de un químico propietario (PC) para dispersar y microencapsular los hidrocarburos (en el caso de que se utilice como método de tratamiento para lodos de crudo), de esta manera los orgánicos son rodeados y atrapados por el PC. El segundo paso envuelve la adición de un material cementoso. Para el caso de la refinería de Esmeraldas se recomienda la utilización de cemento Pórtland comercial, aunque las cenizas provenientes de incineradores u otros hornos tienen excelentes resultados con desechos sólidos de petróleo (lodos).

La masa sólida endurecida puede llegar a obtener resistencia a la compresión de 1000 a 5000 psi, y puede tener una permeabilidad de 10^{-5} a 10^{-9} cm/seg.¹⁶ Este proceso puede ser efectivo aún en un rango de temperatura desde -20°F hasta 200°F .

¹⁶ Publicación API 4465, "Evaluation of Treatment Technologies for Listed Petroleum Refinery Wastes".

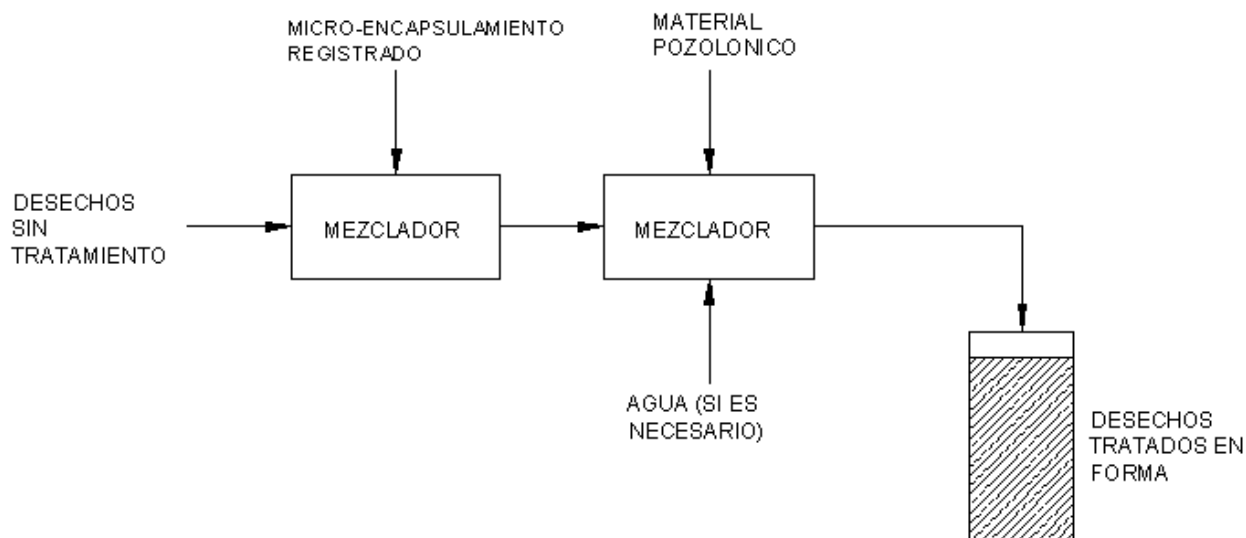


Figura 3.11. Proceso de solidificación de dos pasos.

El siguiente método de datos correlacionados es usado para evaluar la efectividad de la fijación en la reducción de riesgos ambientales. Además permite conocer el porcentaje de reducción del análisis de lixiviados (TCLP):

$$\% \text{ de Reducción} = \frac{[(\text{ppm del compuesto en TCLP de alimentación}) - (\text{ppm del compuesto en TCLP del producto})]}{(\text{ppm del compuesto en TCLP de alimentación})} \quad (3.21)$$

Tomando en cuenta la Tabla 1.2, los desechos sólidos que pueden someterse a un procedimiento de compactación con sus respectivos volúmenes se aprecian en la Tabla 3.13:

Tabla 3.13. Clasificación de los desechos de la REE que pueden ser objeto de Fijación Química.

CODIGO	CLASE DE DESECHOS	CANTIDAD m ³
A 2030	Catalizador Unidad FCC	10
SC	Hollín de hornos y calderas	3
SC	Coque impregnado con catalizador	3

Tabla 3.13. Clasificación de los desechos de la REE que pueden ser objeto de Fijación Química. (Continuación)

SC	Resinas de la Unidad de Utilidades	10
SC	Recipientes de vidrio y otros	1.5

La composición recomendada para realizar un procedimiento de fijación química varía en el rango de 1:1 hasta 3:1.¹⁷

En las instalaciones de la refinería, el mencionado tratamiento debería tener lugar en las celdas de concreto ubicadas en el área externa de desechos. Los desechos mencionados pueden mezclarse con cemento Portland previa su disposición en dicho sitio o puede usarse el cemento como cubierta a fin de evitar la migración de los componentes en el aire.

¹⁷ Publicación API 4465, "Evaluation of Treatment Technologies for Listed Petroleum Refinery Wastes".

CAPÍTULO 4

COMPARACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO DE DESECHOS SÓLIDOS Y SELECCIÓN DE LA MÁS ADECUADA

La filosofía de la protección ambiental ha evolucionado más allá del tratamiento/eliminación de desechos hasta el punto en que actualmente el primer objetivo de un sistema de gestión consiste en reducir la cantidad de desechos producidos. En otras palabras, reducir al mínimo los costos de tratamiento produciendo la menor cantidad de residuos posible. Se está dando considerable atención al desarrollo de procesos que no producen desechos. Las refinerías deberán investigar las posibilidades de utilizar "tecnologías limpias". Deberán optimizarse los procesos existentes con miras a eliminar las emisiones de desechos o, por lo menos, reducir su volumen.

Deben considerarse cuatro factores que tienen influencia sobre la forma como la industria del petróleo, y en este caso particular la REE aborda el manejo de desechos sólidos a fin de establecer el tema de las opciones de tratamiento en un contexto adecuado:

- Legislación impuesta por el gobierno.
- Presiones públicas (como ocurre en la ciudad de Esmeraldas en la actualidad), tanto sobre el gobierno como la industria.
- Prácticas operativas propias.
- Aumento de los gastos financieros relacionados con la limpieza y los litigios.

La aplicación de tecnologías de reducción y tratamiento de los desechos sólidos en la refinería de Esmeraldas se vuelve necesario, porque además de las potenciales sanciones administrativas que pueden presentarse contra la misma, existen también tres hechos de carácter económico que están obligando a las industrias en el ámbito global, cada vez más, a dedicarse al problema de manejo de desechos sólidos:

- El creciente gasto de eliminación de desechos,

- La menor disponibilidad de seguro para cubrir gastos relacionados con problemas relacionados con desechos, y
- El elevado costo de litigios por desechos peligrosos.

El efecto combinado de la legislación, la presión pública de la comunidad para ser más responsables desde el punto de vista del medio ambiente y una creciente carga económica ha llevado a la mayor parte de la industria petrolera a la conclusión de que es preferible mostrar iniciativa en este aspecto.

Un control de desechos responsable es una práctica comercial recomendable.

Cuando sea inevitable la generación de desechos deberá estudiarse cada emisión de desechos producida en el emplazamiento con el fin de determinar dónde se puede efectuar mejoras para reducir el volumen que sale de la refinería como desechos o contaminantes. Esta práctica se conoce como las

Cuatro Rs:

- Reducir
- Re-usar
- Reciclar
- Recuperar

En el presente estudio no se estudiarán a fondo estas opciones por no ser el objetivo del mismo; después de haber puesto en práctica estas opciones, se abordarán los problemas reales de manipulación y tratamiento/eliminación de desechos sólidos.

Durante el trabajo de campo realizado en las instalaciones de la REE, se pudo observar la problemática causada por algunos desechos que no se someten a la práctica de las 4 Rs; y cuyo reciclaje/reuso significaría una disminución significativa en el volumen de desechos que son enviados tanto al botadero municipal de la ciudad de Esmeraldas, como al área externa de desechos.

Los desechos sólidos mencionados son:

- Papel
- Plástico
- Cartón
- Madera (de embalajes y cajas)

La implementación de un programa de reciclaje de papel, plástico y cartón en las áreas administrativas, comedores, y unidades operativas (desechos no

contaminados); permitiría segregarlos mediante la ubicación de contenedores específicos para cada uno de ellos con el fin de realizar su donación y/o venta a empresas interesadas en reciclarlos y darles un buen uso.

De la misma manera, la madera de embalajes por ser de muy buena calidad podría venderse a alguna empresa que le interese contar con esta materia prima; un ejemplo es aquella que pulveriza la madera con el fin de exportarla hacia el Japón para producir aglomerados.

Antes de realizar la comparación entre los métodos estudiados para dar tratamiento a los desechos sólidos de refinería que así lo requieren, debe mencionarse que ninguna tecnología es aplicable para tratar todos los tipos de desechos que se producen en la REE por la variedad de características físico-químicas y por el grado de peligrosidad que muchos de ellos poseen.

En la Tabla 4.1 a continuación se observan los métodos de tratamiento aplicables a varios tipos de desechos peligrosos. La mayoría de las opciones aquí presentadas no se tomaron en cuenta para su aplicación en la REE porque: (a) son aplicables solamente a desechos líquidos o (b) las aplicaciones industriales que se han realizado de las mismas no se han incluido en prácticas de la industria petrolera a nivel mundial debido a su poca factibilidad o falta de investigación de los mismos.

Tabla 4.1. Resumen de métodos de tratamiento de desechos peligrosos.

TIPO RESIDUO PROCESO	Inorgánico sin metales pesados	Inorgánico con metales pesados	Orgánico sin metales pesados	Orgánico con metales pesados	Radiológicos	Biológicos
Fijación Química / Encapsulamiento						
TRATAMIENTOS FÍSICOS						
Centrifugación						
Filtración						
Sedimentación						
Adsorción						
Diálisis						

**Tabla 4.1. Resumen de métodos de tratamiento de desechos peligrosos.
(Continuación)**

Evaporación						
Arrastre						
Osmosis Inversa						
TRATAMIENTOS QUÍMICOS Y/O TÉRMICOS						
Intercambio Iónico						
Precipitación						
Oxidación						
Reducción						
Neutralización						
Hidrólisis						
Fotólisis						
Incineración						
Pirólisis						
Destilación						
Calcinación						
TRATAMIENTO BIOLÓGICO						
Barro activado						
Lagunas de estabilización						
Lecho percolador						
Landfarming						

Fuente: Beron, Laura "Tecnologías de Procesamiento de Residuos Peligrosos. Buenos Aires – Argentina 1986.

La alternativa seleccionada dependerá de un análisis técnico-económico-ambiental de cada una de las opciones y su factibilidad de aplicación. La situación ideal consistiría en seleccionar la alternativa que recicle al máximo, minimice la generación de residuos e incurra en el menor costo de tratamiento. A continuación en la figura 4.1¹ se muestra la aplicabilidad de las diversas tecnologías de tratamiento vs. propiedades de los desechos sólidos como % de

¹ Michael D. La Grega; Hazardous Waste Management; Cap.8 Facility development and operations.

agua, % de material orgánico y % de sólidos totales. Se ha tomado en cuenta las propiedades generales de los desechos sólidos de la refinería de Esmeraldas para determinar los tratamientos más adecuados que se pueden aplicar a los mismos.

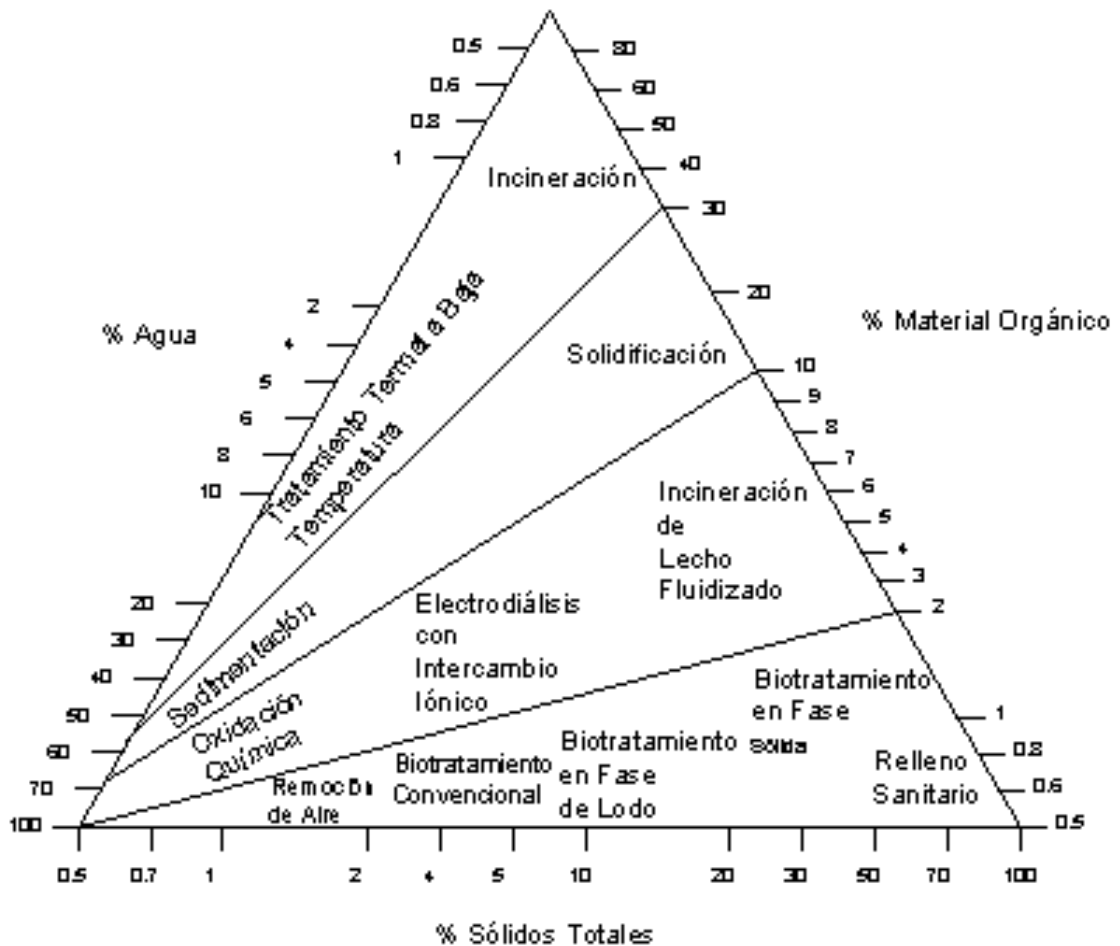


Figura 4.1. Aplicación general de varios métodos de tratamiento vs. características físicas y químicas de los desechos.

Fuente: La Grega, Michael D.; Hazardous Waste Management

4.1 TECNOLOGÍAS FÍSICAS

4.1.1 COMPACTACIÓN

A continuación se presentan las ventajas y desventajas para este tipo de tratamiento que será aplicado dentro de la REE.

Tabla 4.2. Ventajas y desventajas de la compactación.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> • Facilita la manipulación de los desechos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere la presencia de un operador para su control.
<ul style="list-style-type: none"> • Facilita al reciclaje de los desechos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Debido al volumen diario de desechos sólidos en la REE, su uso sería reducido hasta una vez cada día.
<ul style="list-style-type: none"> • Se optimiza el espacio físico dentro los camiones de recolección. 	<ul style="list-style-type: none"> • La relación costo-beneficio es baja a corto plazo.
<ul style="list-style-type: none"> • Incrementa la vida útil del botadero o relleno sanitario donde se lo disponga. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere mantenimiento periódico.
<ul style="list-style-type: none"> • Se optimizan los ciclos de recolección. 	
<ul style="list-style-type: none"> • El espacio físico que ocupa la maquinaria es pequeño. 	
<ul style="list-style-type: none"> • La compactación de alta presión sirve para producir materiales adecuados para varias alternativas de uso. 	
<ul style="list-style-type: none"> • El aspecto sanitario mejora dentro de las instalaciones de la REE, puesto que los desechos sólidos a tratarse por este método son orgánicos. 	

4.1.2 TRITURACIÓN

A continuación se presentan las ventajas y desventajas para este tipo de tratamiento que será aplicado dentro de la REE.

Tabla 4.3. Ventajas y desventajas de la trituración.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> • Facilita la manipulación de los desechos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere la presencia de un operador para su control.

Tabla 4.3. Ventajas y desventajas de la trituración. (Continuación)

<ul style="list-style-type: none"> • Facilita al reciclaje de los desechos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Debido al volumen diario de desechos sólidos en la REE, su uso sería reducido hasta una vez cada día.
<ul style="list-style-type: none"> • Se obtiene un producto final razonablemente uniforme y de tamaño considerablemente reducido comparado con el original. 	<ul style="list-style-type: none"> • La relación costo-beneficio es baja a corto plazo.
<ul style="list-style-type: none"> • El aspecto sanitario mejora dentro de las instalaciones de la REE. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere mantenimiento periódico.
<ul style="list-style-type: none"> • Se optimizan los ciclos de recolección. 	<ul style="list-style-type: none"> • El espacio físico que ocupa la maquinaria es grande.
<ul style="list-style-type: none"> • Es un factor importante en el reuso de materiales y de conversión a energía de desechos sólidos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Debido a la dureza y naturaleza abrasiva que se encuentra en muchos de los desechos sólidos se requiere un cambio constante de las partes de la maquinaria de trituración.
<ul style="list-style-type: none"> • La trituración facilita la disposición final de estos desechos en un pozo séptico, lo que evitaría el transporte hacia el botadero municipal. 	<ul style="list-style-type: none"> • De acuerdo al material ha ser triturado, podría producir ciertos polvos nocivos.

4.2 TECNOLOGÍAS QUÍMICAS

4.2.1 INCINERACIÓN

A continuación se presentan las ventajas y desventajas para este tipo de tratamiento que cuya aplicación se analiza para la REE.

Tabla 4.4. Ventajas y desventajas de la incineración.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> • La destrucción de los desechos sólidos es sumamente eficiente (eficiencias de 99.999% en equipos recientes). 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere la presencia de varios operadores para su control.
<ul style="list-style-type: none"> • Destrucción casi completa de desechos sólidos orgánicos peligrosos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Debido al volumen diario de desechos sólidos en la REE, su uso sería reducido hasta una vez cada día.
<ul style="list-style-type: none"> • También puede utilizarse para la destrucción de desechos líquidos y gaseosos producidos en la refinería. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se requeriría de un permiso para construir la instalación y ponerla en funcionamiento.
<ul style="list-style-type: none"> • En incineradores modernos, la emisión de partículas, dioxinas y furanos es extremadamente reducida; debido a los aditamentos (filtros y scrubbers que poseen). 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere mantenimiento periódico, y capacitación hacia el personal que lo va a operar.
<ul style="list-style-type: none"> • Se eliminaría la necesidad de enviar los desechos peligrosos hacia el área de confinamiento de desechos en la refinería. 	<ul style="list-style-type: none"> • Deben controlarse las emisiones gaseosas.
<ul style="list-style-type: none"> • No se requiere de combustible externo, pues puede funcionar con gas oil que se produce dentro de la REE. 	<ul style="list-style-type: none"> • Costo inicial de inversión elevado.
	<ul style="list-style-type: none"> • Las cenizas producto de la incineración deben ser dispuestas de manera controlada. (En la REE deberían llevarse al área externa de desechos para encapsularlas).
	<ul style="list-style-type: none"> • Durante la incineración los desechos pueden pegotarse en el horno o apelmazarse en el refractario provocando malos olores y humo.
	<ul style="list-style-type: none"> • Ocupa un espacio físico grande.

4.2.2 PIRÓLISIS

A continuación se presentan las ventajas y desventajas para este tipo de tratamiento que será aplicado dentro de la REE.

Tabla 4.5. Ventajas y desventajas de la pirólisis.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> Principalmente sirve para destruir compuestos semi-volátiles orgánicos, combustibles y derivados que se encuentran en el suelo. 	<ul style="list-style-type: none"> No es muy efectiva en la destrucción o separación física de desechos inorgánicos.
<ul style="list-style-type: none"> Destrucción casi total de los desechos sólidos orgánicos. 	<ul style="list-style-type: none"> El costo de la maquinaria es muy elevado.
<ul style="list-style-type: none"> Funciona con combustibles de fácil obtención en la refinería 	<ul style="list-style-type: none"> Espacio físico de la maquinaria es muy grande.
Se eliminaría la necesidad de enviar los desechos peligrosos hacia el área de confinamiento de desechos en la refinería.	<ul style="list-style-type: none"> Necesitan de un operador.
También puede utilizarse para la destrucción de desechos líquidos y gaseosos producidos en la refinería.	<ul style="list-style-type: none"> Esta tecnología requiere que los compuestos estén casi secos, con una humedad <1%.
	<ul style="list-style-type: none"> Su aplicación en refinerías de petróleo aún no ha sido completamente probada en términos de rendimiento. Puesto que la información e investigaciones realizadas son limitadas en calidad y cantidad y se encuentran en manos privadas.
	<ul style="list-style-type: none"> Los desechos sólidos con características abrasivas podrían dañar la unidad del procesador.
	<ul style="list-style-type: none"> Aquellos desechos que contengan metales pesados pueden requerir un paso posterior de estabilización.

Tabla 4.5. Ventajas y desventajas de la pirólisis. (Continuación)

VENTAJAS	DESVENTAJAS
	<ul style="list-style-type: none"> • El proceso produce desechos semisólidos peligrosos, producto de la condensación de líquidos en la salida de gases, lo que crea un tipo aceite/brea que requiere tratamiento.
	<ul style="list-style-type: none"> • Aunque se minimiza la polución producida por los desechos sólidos de la refinería, las normas de calidad de aire pueden prohibir su uso.

4.2.3 FIJACIÓN QUÍMICA

A continuación se presentan las ventajas y desventajas para este tipo de tratamiento que será aplicado dentro de la REE.

Tabla 4.6. Ventajas y desventajas de la fijación química.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> • Es un procedimiento de fácil aplicación, no se requiere mayor capacitación para el personal que va a estar a cargo del mismo, con excepción de ciertas normas de seguridad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Incrementa el volumen del desecho tratado desde un 10% a un 100%, lo que a largo plazo podría presentar un problema en el área externa de desechos.
<ul style="list-style-type: none"> • Deja a los desechos sólidos producidos en la refinería en condiciones aptas para su disposición en el suelo (área externa de desechos). 	<ul style="list-style-type: none"> • Debido al volumen de generación de los desechos sólidos, se requiere de una gran cantidad de cemento Pórtland, cuyo costo representa una desventaja.

Tabla 4.6. Ventajas y desventajas de la fijación química. (Continuación)

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> • Es una opción viable tanto para los desechos sólidos peligrosos (catalizadores gastados, resinas) como para lodos y desechos líquidos. 	<ul style="list-style-type: none"> • El laboratorio de la unidad de Protección Ambiental de la refinería debe analizar los desechos a fin de optimizar este tratamiento.
<ul style="list-style-type: none"> • Para este tratamiento se utilizan las celdas del área externa de desechos, que ya están construidas. 	
<ul style="list-style-type: none"> • Estabiliza tanto desechos sólidos con compuestos orgánicos e inorgánicos. 	
<ul style="list-style-type: none"> • Se puede prescindir de maquinaria, pues la operación puede realizarse de manera manual utilizando equipo de seguridad adecuado. Aunque es sugerido utilizar una mezcladora de cemento. 	

4.3 TECNOLOGÍAS DE BIOREMEDIACIÓN

4.3.1 LANDFARMING

A continuación se presentan las ventajas y desventajas para este tipo de tratamiento que será aplicado dentro de la REE.

Tabla 4.7. Ventajas y desventajas del Landfarming.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> • No es una tecnología costosa, y los requerimientos de energía son muy pocos. 	<ul style="list-style-type: none"> • No se puede controlar la velocidad de la biodegradación pues depende de la temperatura.

Tabla 4.7. Ventajas y desventajas del Landfarming. (Continuación)

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> • Aplicable a todos los lodos que salen como productos de desecho dentro de la REE, permitiendo bioremediar grandes volúmenes con un solo tratamiento. 	<ul style="list-style-type: none"> • La presencia de compuestos tóxicos y el agotamiento del oxígeno disuelto o de nutrientes pueden inhibir la acción microbiana.
<ul style="list-style-type: none"> • No requiere la utilización de equipos sofisticados o de alta tecnología. 	<ul style="list-style-type: none"> • No existe recuperación de energía excepto un posible aumento del contenido húmico del suelo.
<ul style="list-style-type: none"> • Existen productos que mejoran su eficiencia que no poseen un costo elevado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se requiere un permanente control de los niveles de contaminantes en el suelo circundante, así como de emisiones al aire (COV's).
<ul style="list-style-type: none"> • El área externa de desechos en la refinería posee espacio suficiente para realizar este tratamiento de manera extensiva. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se requieren extensas áreas para la aplicación del biotratamiento.

4.4 ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS

La selección de la alternativa más adecuada está basada en un análisis comparativo usando un conjunto de criterios. Estos criterios caen dentro de las siguientes categorías:

- Efectividad a largo plazo
- Confiabilidad a largo plazo
- Implantabilidad
- Efectividad a corto plazo
- Costo

Los criterios mencionados se explican brevemente a continuación en la tabla 4.8:

Tabla 4.8. Explicación de los criterios utilizados para escoger una o varias alternativas de tratamiento de los desechos sólidos de la REE.

Criterio	Explicación
1. Efectividad a largo plazo	Se refiere a como enfrenta el tratamiento los objetivos para los que se lo utiliza (reducción de la toxicidad, movilidad o volumen producto de la contaminación por el desecho) en un período grande de tiempo (70 años).
2. Confiabilidad a largo plazo	Tiene que ver con aquellos procedimientos que luego de su implementación dejan contaminantes no tratados o desechos propios del tratamiento en el lugar de operación del mismo.
3. Implantabilidad	Es función de tres factores: a) la historia o experiencia con el buen desempeño de la tecnología, b) la habilidad para construir y operar la tecnología dadas las condiciones particulares del sitio donde se implementará, y c) la habilidad para obtener los permisos de funcionamiento necesarios
4. Efectividad a corto plazo	Tiene que ver con los efectos en la salud humana y el medio ambiente durante la fase de implementación
5. Costo	Envuelve toda la inversión necesaria para poner en marcha la implementación de la tecnología de tratamiento, consta del costo capital, y el costo anual de operación y mantenimiento.

Fuente: Michael LaGrega. "Hazardous Waste Management". Cap 17 Remedial Alternatives Analysis. 1998.

Debido a la variada naturaleza de los desechos sólidos que se generan en todas las áreas de la REE, tanto administrativas como operativas, sería un

proceso poco técnico tratar de comparar entre sí a todas las tecnologías para tratar de hallar una que cumpla con los requerimientos para como todos los desechos.

Por esto se ha decidido comparar por separado en varias matrices, los diferentes tipos de desechos de acuerdo a su clasificación de inertes, especiales, metálicos y degradables. Ver Anexo 4

Luego de analizadas las alternativas, y considerando la factibilidad de implementación de las mismas en la REE, se ha determinado la utilización de las siguientes tecnologías para el tratamiento de los desechos sólidos en la REE:

- Compactación para desechos provenientes de áreas administrativas y degradables.
- Fijación química e Incineración para desechos peligrosos provenientes de unidades operativas y procesos.
- Landfarming para desechos semisólidos (lodos y suelo contaminado con hidrocarburo).

CAPITULO 5

TRANSPORTE DE DESECHOS SÓLIDOS EN LA REFINERÍA ESTATAL DE ESMERALDAS

5.1 CONSIDERACIONES PREVIAS AL TRANSPORTE DE DESECHOS SÓLIDOS

Luego de haberse determinado los métodos de tratamiento más adecuados para los desechos sólidos que se producen en la REE; deben tomarse en cuenta algunas consideraciones en la manipulación de los mismos; esto incluye los desechos sólidos generados en las diversas unidades de proceso y administrativas y los productos obtenidos luego de los tratamientos. Estas consideraciones deben aplicarse tanto al interior de la planta (in-situ) como al transportarlos hacia una instalación exterior de desechos.

Todo el personal que participe en la manipulación, envío, recepción, acarreo y administración del transporte de desechos sólidos que se producen en la REE debe estar debidamente capacitado o encontrarse bajo la supervisión directa de una persona capacitada, que en el caso de la refinería debería ser el Supervisor de Control Ambiental (cargo vacante en la actualidad).

La capacitación debe versar sobre los procedimientos y normas de seguridad a tomarse en cuenta durante la manipulación de los desechos, los peligros potenciales que representan los mismos, así como la reglamentación existente para las actividades que implican el manejo de productos peligrosos.

A fin de cumplir con los objetivos del Sistema de Gestión de desechos sólidos, la Jefatura de Seguridad Ambiental y Protección Ambiental de la REE deberá definir algunos estándares para la manipulación y transporte de desechos sólidos (la mayoría de ellos peligrosos), que son comunes en prácticas petroleras en el ámbito mundial:

- Un análisis específico del sitio (la planta de la refinería) y un plan de protección a fin de evitar accidentes producidos.
- Un nivel mínimo de entrenamiento para los empleados que serán expuestos a los desechos y por ende a sustancias tóxicas.

- Exámenes médicos periódicos de los empleados que manejan sustancias peligrosas.
- Equipo de protección apropiada para el personal.
- Límites máximos de exposición.
- Un programa informativo para los empleados que regularmente manejan desechos sólidos (peligrosos).
- Un plan de respuesta de emergencia para accidentes que involucren desechos sólidos (peligrosos).
- Un sistema de etiquetado e identificación de desechos sólidos (peligrosos).
- Los requisitos a cumplirse por parte de aquellos transportistas encargados de llevar los residuos hacia instalaciones exteriores.

A continuación se abordarán de manera separada la forma en que debe llevarse a cabo el transporte de los desechos sólidos tanto al interior de la planta como al exterior.

5.1.1 UTILIZACIÓN DE CONTENEDORES PARA ALMACENAMIENTO TEMPORAL Y TRANSPORTE DE DESECHOS SÓLIDOS

Todos aquellos desechos peligrosos (aquellos que entren dentro de la clasificación dada por la Tabla 2.2) luego de ser recolectados, y antes de ser transportados deben colocarse en contenedores metálicos de 55 galones de capacidad. Los contenedores deben ser de *color naranja*, como lo establece la Norma OSHA “**Recommended color coding - 1910.145(f) Appendix A**” puesto que por el contenido que llevarán los mismos se deberán tener precauciones.

Los recipientes mencionados deben estar provistos de agarraderas laterales que faciliten el traslado manual de los mismos, y no deben presentar posibilidad de dañar a quienes los manipulen (bordes o filos cortantes, oxidados, etc.). Además deben estar etiquetados con la denominación “MATERIALES PELIGROSOS”, la cuál debe quedar en el tanque de manera perdurable.

A continuación en la Tabla 5.1 se puede observar las clases de contenedores usados para el almacenaje de desechos peligrosos.

Tabla 5.1. Contenedores usados para almacenaje de desechos peligrosos.

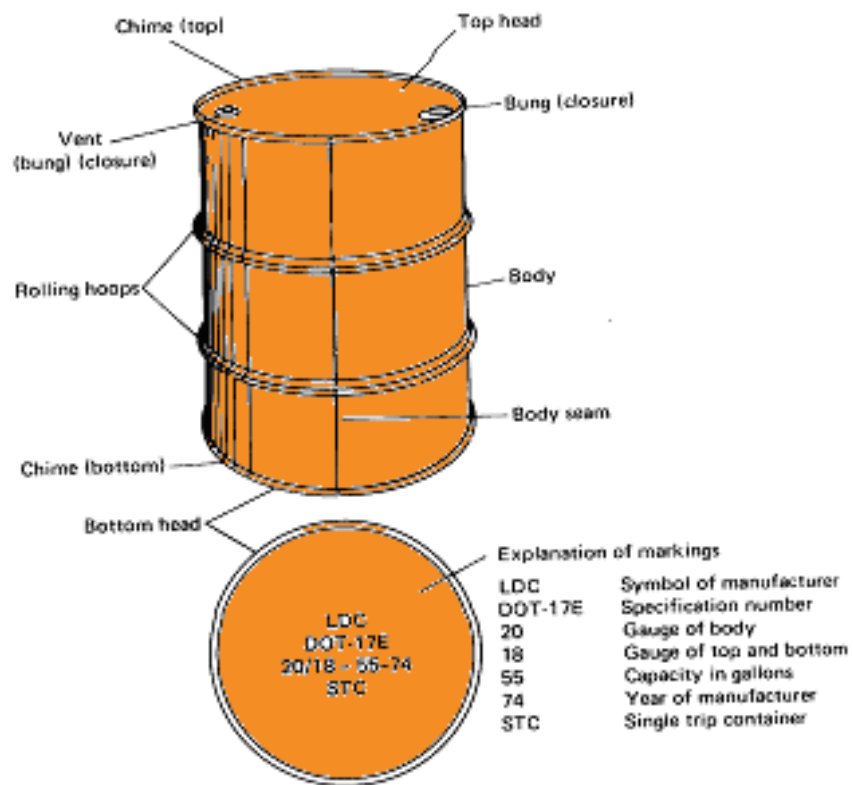
<i>Tipo de Desecho</i>	<i>Contenedores</i>		<i>Equipo auxiliar y condiciones de uso</i>
	<i>Tipo</i>	<i>Capacidad (gal)</i>	
Sustancias Radioactivas	Plomo encajonado en concreto	Varia con el desecho	Instalaciones de almacenamiento aisladas, montacargas, equipo para rayos; etiquetado especial.
	Tambores metálicos reglado	55	
Químicos Tóxicos	Tambores metálicos	55	Facilidad para el lavado de contenedores vacíos; precauciones especiales en el mezclado para prevenir reacciones peligrosas.
	Tambores metálicos reglado	55	
	Tanques de almacenamiento	Hasta 5000	
Desechos Biológicos	Fundas plásticas selladas	32	Esterilización por calor previo a introducir en las fundas o bolsas; bolsas especiales de trabajo pesado con la impresión en sus lados de "cuidado".
	Tambores metálicos reglado		
Desechos Inflamables	Tambores metálicos	55	Ventilación de vapores y humos; control de temperatura.
	Tanques de almacenamiento	Hasta 5000	
Explosivos	Contenedores absorbedores de golpes (impactos)	Varia	Control de temperatura; marcas especiales para contenedores.

Los desechos sólidos degradables (desechos de áreas de comedor, labores de jardinería, etc.) debido a su naturaleza no contaminante serán almacenados temporalmente en contenedores plásticos de 55 galones provistos de tapa, hasta que se realice su recolección y transporte hacia su sitio final de disposición. Es recomendable ubicar estos desechos en bolsas plásticas de polietileno antes de ponerlos en los contenedores. El color de los recipientes mencionados se ha establecido en *café*. Deben estar etiquetados con la leyenda “DESECHOS DEGRADABLES”.

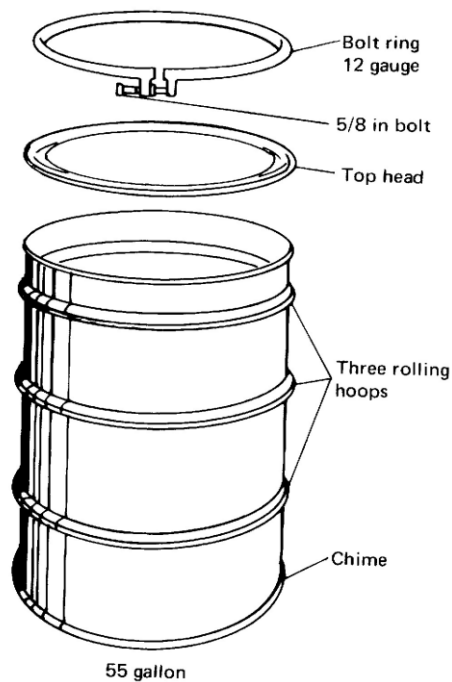
Los desechos metálicos que no superen los 20 cm, en la mayor dimensión serán colocados en contenedores de 55 galones de *color verde*. Aquellos que superen este tamaño deberán desalojarse hacia el chatarrero. Es menester que la REE busque una opción de reciclaje válida para estos metales, debido al gran volumen ocupado por los desechos metálicos almacenados actualmente. Deben estar etiquetados con la leyenda “DESECHOS METÁLICOS”.

Aquellos residuos inertes no metálicos (vidrios, plásticos, cerámicos, materiales de construcción, arena, grava, restos de tubería de caucho, materiales flexibles y restos de recipientes de PVC que contenían sustancias tóxicas) deben ser recolectados en contenedores de *color azul*, y deben ser etiquetados con la leyenda “DESECHOS INERTES”.

En las figuras que vienen a continuación se podrá observar los tipos de tanques (contenedores) de 55 galones y sus especificaciones, para los desechos sólidos peligrosos.



(a) Light-gauge closed-head drum



(b) Light-gauge open-head drum

Figura 5.1. Típicos contenedores tipo tambor de acero usados para el almacenaje de desechos peligrosos.

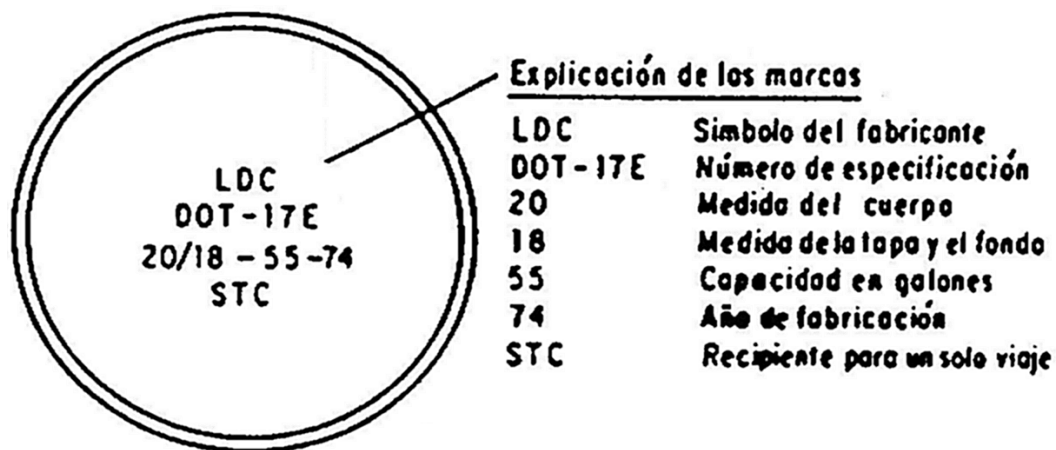


Figura 5.2. Forma correcta de marcar las tapas de los contenedores. ¹

Para los tanques contenedores de las especificaciones 17C, 17E y 17H, se detallan las presiones mínimas que deben tener los residuos en la Tabla 5.2. Se ha considerado la nomenclatura de la EPA y DOT puesto que en el Ecuador no existe normativas respecto a este tema.

Tabla 5.2. Constantes mínimas para la presión interna de aire en los contenedores.

<i>Nro. de Especificación</i>	<i>Capacidad (galones)</i>	<i>Presión Mínima (psi)</i>
17C	55 (lleno)	15
17E	> 12	7
	≤12	5
17H	> 12	7
	≤12	5

A continuación en la figura 5.3 se puede observar las diversas etiquetas para los contenedores de distintos tipos de desechos peligrosos, que son aplicables en la REE para los desechos tratados en este trabajo. Cabe mencionar que dependiendo de las características de los desechos sólidos, estos símbolos deben combinarse a fin de presentar todas las características peligrosas que representen:

¹ George Tchobanoglous; Solid Waste Management; Cap 11 Hazardous Wastes. 1998.



Figura 5.3 Diversos tipos de etiquetados para contenedores de desechos peligrosos.²

El significado de cada uno se presenta a continuación, empezando desde la primera fila en orden descendente y de izquierda a derecha:

Primera fila: Venenoso, Peligroso al ambiente, Corrosivo, Explosivo.

² DOT. (US Department of Transportation), Hazardous Division. www.dot.gov

Segunda Fila: Inflamable o extremadamente inflamable, Irritante, Químico oxidante, Gas venenoso (o sólido que pueda producir gases venenosos).

Tercera Fila: Peligro misceláneo (el peligro que representa debe especificarse en el espacio en blanco), Venenoso (símbolo más general), Sólido Inflamable, Guardar lejos de productos alimenticios.

Cuarta Fila: Peligroso si se moja (explica alguna reacción violenta al combinarse con agua), Gas Inflamable (o que desprende gas inflamable), Gas no Inflamable (o que lo desprende), Peróxido Orgánico.

Quinta Fila: Corrosivo (evitar contacto con la piel), Peligroso si se inhala, Contaminante marino (no disponer en ambiente acuático), combustible espontáneo.

5.1.2 INCOMPATIBILIDAD DE MEZCLA DE LOS DESECHOS SÓLIDOS PRODUCIDOS EN LA REE

Puesto que el mezclar desechos sólidos peligrosos entre sí durante el transporte y/o la disposición final puede acarrear reacciones violentas o peligrosas que podrían afectar la seguridad de quienes los manipulan o causar daño al medio ambiente, debe evitarse a toda costa que suceda lo mencionado.

Para determinar la incompatibilidad entre dos o más desechos sólidos peligrosos, pueden seguirse los pasos mencionados a continuación:

- Identificar los componentes reactivos presentes en los desechos sólidos (antes y después de su tratamiento) dentro de los 41 que se mencionan en la Tabla de Incompatibilidad para almacenamiento de desechos peligrosos que se encuentra en el Anexo 5 del presente documento.
- Interceptar en la Tabla mencionada la fila con la columna de los desechos que se pretende averiguar los efectos consecuencias de su mezcla.
- Las letras que se encuentran en el punto de intersección en la tabla indican las reacciones que se producen, determinando la incompatibilidad o no de los desechos.

5.1.3 MANIPULACIÓN DE LOS DESECHOS SÓLIDOS EN EL INTERIOR DEL COMPLEJO INDUSTRIAL

Las siguientes recomendaciones son necesarias para volver más eficiente las operaciones de transferencia de los desechos sólidos al interior de la REE, a continuación:

- Adecuar la zona de almacenamiento de desechos sólidos (peligrosos) de forma que resulte ordenado y accesible para el transporte (que no escondan productos), que facilite la detección de fugas y que cumpla las medidas de seguridad.
- Establecer los procedimientos para todas las operaciones de carga y descarga, transporte interno y transferencia; tanto antes como después de haber sido realizado los tratamientos.
- Disponer las hojas de seguridad y procedimientos de actuación, y respuesta inmediata ante accidentes.
- Identificar y etiquetar todos los contenedores de desechos, asegurar una trazabilidad de los envases.
- Mantener contenedores, bidones y tanques cerrados.
- Establecer programas de mantenimiento y procedimientos, realizar controles de los bidones y los tanques.
- Utilizar tanques de almacenamiento y contenedores siguiendo recomendaciones del fabricante y solo para su propósito inicial.

Seguir las siguientes normas generales de seguridad:

- Utilizar gafas de seguridad para evitar salpicaduras.
- No utilizar lentes de contacto, ya que en caso de accidente las salpicaduras de productos químicos o sus vapores pueden pasar detrás de los lentes y provocar lesiones en los ojos antes de poder retirar las lentes.
- Es recomendable utilizar guantes, sobretodo porque las características de algunos desechos sólidos pueden ser sustancias corrosivas o tóxicas.
- No comer ni beber ya que hay la posibilidad de que los alimentos o bebidas se hayan contaminado con productos químicos.

- Los recipientes de productos químicos o recipientes donde se han depositado desechos sólidos en general nunca deben utilizarse para el consumo y conservación de alimentos y bebidas.
- Lavarse las manos después de cada trabajo.
- No fumar o hacer fuego en ningún sector de la planta, salvo los casos expresamente permitidos.
- No inhalar, probar u oler productos químicos si no están debidamente informados.
- Cerrar herméticamente los frascos de productos químicos después de utilizarlos.
- Todos los productos químicos derramados tienen que ser limpiados inmediatamente.
- No inhalar los vapores de productos químicos. En caso de no poder evitar la exposición utilizar protección adecuada.
- Evitar el contacto con productos químicos con la piel, especialmente los que sean tóxicos o corrosivos usando guante de un solo uso. Lavarse las manos a menudo.
- Como regla general leer siempre detenidamente la etiqueta de seguridad de los reactivos antes de usar.
- No transportar innecesariamente productos químicos peligrosos.
- Ser conciente de las fuentes de ignición que hay en su área de trabajo; llamas, fuentes de calor, equipos eléctricos.
- No almacenar juntos desechos sólidos incompatibles.
- Minimizar la cantidad de desechos desde el origen, limitando la cantidad de materiales que se compran y que se usan.

Debe tomarse en cuenta que no se ha sugerido mantener la manera en que la refinería realiza la recolección de los desechos sólidos producidos, mediante dos compañías contratistas que se encargan tanto de la recolección como de su transporte hacia el destino final:

- La primera compañía recolecta los desechos sólidos reciclables y no reciclables que se producen en las áreas administrativas, comedor etc... La

frecuencia de recolección es diaria de lunes a domingo entre las 7:30 AM y las 9:30 AM. Actualmente se dispone de estos desechos en el basurero municipal.

- La segunda compañía contratista (REYTEN S.A.) se encarga de la recolección de desechos sólidos peligrosos, inertes contaminados y no contaminados provenientes de las unidades de proceso y de canales del sistema de tratamiento de aguas. El destino de estos desechos es el área externa de desechos sólidos, y la frecuencia de su recolección es diaria.

5.1.4 MANIPULACIÓN DE LOS DESECHOS SÓLIDOS EN EL EXTERIOR DEL COMPLEJO INDUSTRIAL

La refinería tiene una importante participación en la responsabilidad de asegurar que los desechos sean entregados en forma segura a dicha instalación. Como remitente de productos que podrían causar daño al público, la refinería debe clasificar, documentar y etiquetar los envíos, así como reportar cualquier incidente.

Es responsabilidad de la refinería clasificar apropiadamente los desechos a enviar.

La consignación debe ir acompañada de un manifiesto de desechos completo y preciso. Entre la información incluida debe figurar la siguiente:

- Tipo y cantidad de desechos e información sobre la clasificación respectiva.
- Identidad del generador de desechos, el transporte y el destinatario.
- Fecha de envío y fecha de llegada prevista al lugar de destino.
- Instrucciones de manipulación especial y de emergencia aplicables a los desechos.

La refinería debe asegurarse que envía desechos peligrosos sólo en empresas de transporte capaces de manipular tales desechos. Los vehículos y cualquiera de sus contenedores de desechos deben cumplir con las normas de seguridad apropiadas, y los conductores deben estar debidamente capacitados en los procedimientos para la manipulación de tales desechos. La refinería debe asegurarse que la empresa de transporte tenga un adecuado seguro de responsabilidad civil.

La refinería debe asegurarse que envía desechos peligrosos sólo a instalaciones aptas para manipular o tratar tales desechos.

La refinería debe asegurarse que se coloquen las debidas etiquetas de seguridad, afiches y avisos de peligro en los vehículos que contengan desechos, y si fuese posible, en los contenedores de desechos de ese vehículo.

Las autoridades de transporte y medio ambiente deben ser informadas sobre cualquier tipo de fugas, derrames, incendios, etc. que tengan que ver con los vehículos que transporten desechos considerados peligrosos. Los incidentes que representen o puedan representar una amenaza para la salud humana y el medio ambiente deberán informarse de inmediato. Los incidentes menos graves deben informarse dentro de un período razonable, menor de treinta días.

La refinería deberá preparar planes de contingencia con respuesta a las emergencias con el fin de atender los accidentes de transporte y deberá asegurarse que la empresa de transporte tenga conocimiento de ellos.

Asimismo, la refinería deberá mantenerse informada sobre los planes de emergencia de la empresa de transporte.

La refinería debe también capacitar personal para asegurar el cumplimiento de los procedimientos adecuados.

El supervisor del programa de control de desechos, o la persona que éste designe, debe conocer los reglamentos pertinentes para el transporte de desechos.

5.2 REGULACIONES DE LA EPA PARA EL TRANSPORTE DE DESECHOS SÓLIDOS

La EPA (Environmental Protection Agency) es la agencia encargada de regular las leyes ambientales en los EE.UU., pero existen leyes nacionales que ponen en práctica algunas de las regulaciones de la EPA, en especial para el transporte de los desechos sólidos que se generan en la REE. Además de estas regulaciones internacionales deben tomarse en cuenta las leyes

nacionales aplicables que se encuentran en el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS).

La EPA junto con la DOT (Department Of Transportation) tienen como finalidad regular el transporte de los desechos, en especial aquellos caracterizados como peligrosos bajo ciertos requisitos específicos. Estos requisitos son diseñados para ayudar a reducir el riesgo de la pérdida, salida, o la exposición durante la transportación de los desechos peligrosos, y además comunicar la información de los mismos.

Estas metas se logran conseguir a través de un seguimiento de los embarques, teniendo contenedores correctamente empacados y etiquetados, y advirtiendo lo peligrosos de su contenido. Además existen requisitos más específicos como el manifiesto, el marcado correcto de los envases, vehículos adecuados para el transporte con sus respectivos permisos y un control exhaustivo de los supervisores.

Las regulaciones más usadas en el transporte de desechos sólidos, especialmente los peligrosos, que pueden utilizarse como guía para la REE son:

- **40 CFR Part 260** General RCRA Requirements.
- **40 CFR Part 262 Subparts B, C, D, E** Generator, Manifest, Pre-transport, Recordkeeping, and Exportation Requirements.
- **40 CFR Part 263** Transportation of Hazardous Waste Requirements.
- **49 CFR Parts 171-178** DOT Hazardous Materials Requirements.

Estas guías que permiten un transporte de los desechos sólidos de la REE de manera segura, deben ser tomadas en cuenta por las empresas contratistas que realizan el transporte en el interior como hacia el exterior de la REE.

Así mismo una de las funciones del Supervisor de Control Ambiental debe ser cerciorarse de que las empresas contratistas cumplan con los artículos exigidos por la legislación ambiental nacional en el TULAS en cuanto al Transporte de desechos peligrosos, que se mencionan a continuación:

5.3 MANIFIESTO.

Para llevar acabo el transporte de un desecho desde un foco generador en la REE, deberá inventariarse dicho material a través de una hoja de

especificaciones conocida como manifiesto. Este manifiesto debe contener un seguimiento del material de desecho desde el punto de generación hasta el punto donde se vaya a disponer. El transporte de una carga de este tipo sin la correspondiente documentación constituye un hecho delictivo según el TULAS. El manifiesto de transporte se puede observar en el Anexo 6.

CAPÍTULO 6

ALMACENAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE LOS DESECHOS SÓLIDOS EN LA REFINERÍA ESTATAL DE ESMERALDAS

6.1 CONSIDERACIONES PREVIAS AL ALMACENAMIENTO DE DESECHOS SÓLIDOS

Luego de que se han analizado las opciones de tratamiento a fin de reducir tanto el volumen de desechos sólidos a ser manejados, como la peligrosidad de los mismos previa su disposición final; y la manera en que estos deben ser transportados, es necesario determinar las condiciones en que se deben almacenar estos desechos de manera permanente para minimizar los efectos negativos tanto al ambiente como a la salud de quienes laboran en las instalaciones de la REE.

Afortunadamente para la REE, en la actualidad se dispone de un lugar destinado a recibir a todos aquellos desechos sólidos que no van a ser evacuados al exterior de las instalaciones por alguna de las siguientes razones:

- Reciclaje (plásticos, cartón, papel y madera)
- Reutilización (azufre sólido producto de la Unidad Catalítica 3 o Desulfuradora)
- Disposición en otro lugar (basurero municipal)

Este lugar denominado como “Área de Confinamiento Final de Desechos Peligrosos de la REE” fue construido en una extensión de 6Ha y se encuentra ubicado en la parte posterior de la Refinería de Esmeraldas en el sector de las teas. Consta de la siguiente infraestructura:

- Piscina de Landfarming
- Fosa para la recepción de lodos aceitosos de las Unidades Operativas de REE
- Fosa para almacenamiento de catalizador gastado de FCC
- Losa para el acopio de material refractario

- Celdas para desechos peligrosos

A continuación se explicará brevemente la función que cumple cada uno de estos componentes:

6.1.1 FOSA PARA CATALIZADOR GASTADO DE FCC

El objetivo de esta instalación es proveer un lugar de almacenamiento temporal para el catalizador gastado de la Unidad de FCC, a fin de evitar que las partículas del mismo se esparzan por el aire causando efectos indeseables. Las medidas de la misma son $(10 \times 10 \times 2) \text{m}^3$.

El catalizador es embolsado en sacos de yute.

Una alternativa en estudio actualmente es la utilización de este catalizador para la preparación de ladrillos alivianados para la construcción.

6.1.2 CELDAS DE CONCRETO PARA DESECHOS PELIGROSOS

Consta el momento de 80 celdas de concreto idénticas en aspecto estructural, que sirven como lugar de depósito para los desechos sólidos peligrosos generados. Las dimensiones de cada una de las celdas son $(1.5 \times 1.5 \times 2) \text{m}$. La distribución de las celdas está dada por grupos de los desechos tratando de evitar cercanía tomando en cuenta las mismas incompatibilidades de la Tabla. . Para un mismo grupo de desechos solo permanecerá destapada una celda y se colocará su tapa una vez que se haya completado la capacidad útil de la celda. Las celdas actualmente construidas están planificadas para dar cabida a los desechos sólidos durante un plazo de 5 años. Posteriormente se requerirá de la construcción de más estructuras como estas. El número de celdas empleado actualmente para la disposición de los desechos sólidos se presenta en la Tabla 6.1:

Tabla 6.1. Actual disposición final de los desechos en las celdas ubicadas en el área de confinamiento.

<i>Desecho</i>	<i>Nro. de celdas</i>
1. Aislante térmico	4
2. Hollín hornos y calderos	3
3. Trapos y estopas contaminadas con aceite	15
4. Coque impregnado con catalizador	8
5. Restos de ropa contaminada	15
6. Embalaje de productos químicos	3
7. Desechos metálicos	13
8. Recipientes de vidrio	1
9. Lámparas / luminarias	1
10. Mangueras	1
11. Juntas de amianto y galletas	1
	65

6.1.3 LOSA PARA ACOPIO DE MATERIAL REFRACTARIO

Sirve para disponer el material refractario gastado proveniente de las instalaciones de la REE en los diversos procesos que emplea y donde se requiere aislar térmicamente determinados elementos. El área de dicha instalación es de 10x10m, está construida en concreto para evitar el contacto del refractario con el suelo.

6.1.4 PISCINA DE LANDFARMING

Esta piscina recibe los lodos aceitosos desde los sitios donde se originó la contaminación con hidrocarburos (cubetos de los tanques de almacenamiento, canales, áreas abiertas, etc.) El tiempo que se mantienen los materiales contaminados en esta instalación está entre 60 y 90 días, y la carga se realiza por lotes (tipo batch).

6.1.5 FOSA PARA LODOS ACEITOSOS

Esta instalación recibe los lodos aceitosos provenientes de los distintos procesos de refinación del petróleo existentes en la refinería. Sirve como paso previo al tratamiento en la piscina de landfarming, pues aquí se almacenan los desechos mencionados hasta que deban ser removidos por lotes hasta la misma. Cuenta con un recubrimiento con geomembrana, y un dispositivo de cuello de ganso para el rebose de los lixiviados.

A pesar de que en la actualidad se pretende disponer los desechos sólidos producidos en las instalaciones de la REE de manera adecuada, no se toma en cuenta que los procedimientos no son los óptimos, y no se encuentran bien definidas las opciones de reciclaje (a quien se van a donar) de los desechos sólidos que pueden serlo.

Se expone a continuación en la Tabla 6.2 el lugar en donde son dispuestos cada uno de los desechos sólidos producidos en la REE actualmente:

Tabla 6.2. Actual disposición final de los desechos sólidos en el área de confinamiento de la REE.

<i>ORIGEN</i>	<i>ESPECIFICACIÓN</i>	<i>CLASE</i>	<i>DISPOSICIÓN FINAL</i>
DESECHOS ÁREAS ADMINISTRATIVAS	Papel de oficina	B	Reciclaje
	Papel higiénico	B	Basurero Municipal
	Fundas y recipientes plásticos	B	Reciclaje
	Gramas y podas vegetales	C	Basurero Municipal
	Restos alimenticios de bar-comedor	B	Basurero Municipal
	Desechos varios no contaminados	C	Basurero Municipal

Tabla 6.2. Actual disposición final de los desechos sólidos en el área de confinamiento de la REE. (Continuación)

DESECHOS DE UNIDADES OPERATIVAS	Restos de material refractario	C	Losa para el efecto ubicada en área de confinamiento de desechos
	Restos de aislante térmico	C	Celdas de concreto para confinamiento de desechos peligrosos
	Catalizador de FCC	A	Fosa para catalizador en área de confinamiento de desechos
	Hollín de hornos y calderas	A	Celdas de concreto para confinamiento de desechos peligrosos
	Estopas contaminadas con aceites	B	Celdas de concreto para confinamiento de desechos peligrosos
	Catalizador de la Unidad de Azufre	C	Celdas de concreto para confinamiento de desechos peligrosos
	Coque impregnado con catalizador de FCC	A	Celdas de concreto para confinamiento de desechos peligrosos
DESECHOS VARIADOS	Embalaje de catalizador de FCC	C	Celdas de concreto para confinamiento de desechos peligrosos
	Embalaje de productos químicos	A	Celdas de concreto para confinamiento de desechos peligrosos
	Desechos metálicos (virutas)	C	Basurero Municipal
	Vidrios de laboratorio	A	Celdas de concreto para confinamiento de desechos peligrosos
	Lámparas y luminarias	A	Celdas de concreto para confinamiento de desechos peligrosos

Tabla 6.2. Actual disposición final de los desechos sólidos en el área de confinamiento de la REE. (Continuación)

	Embalajes plásticos de refrigerios	B	Basurero Municipal
	Mangueras deterioradas	B	Celdas de concreto para confinamiento de desechos peligrosos
	Juntas de amianto y galletas	C	Celdas de concreto para confinamiento de desechos peligrosos
	Desechos de madera y papeles	B	Donación para reciclaje
	Lodos aceitosos y asfaltos colectados en áreas	B	Fosas aceitosas y/o Landfarming
	Pedazos de lona impregnados con aceite	B	Celdas de concreto para confinamiento de desechos peligrosos

6.2 PROCEDIMIENTOS DE ALMACENAMIENTO IN SITU

Las prácticas de almacenamiento in-situ que deben aplicarse en toda la refinería y principalmente en el área externa de desechos, son una función de los tipos y cantidades de desechos peligrosos generados y del periodo de tiempo sobre el cual ocurrió la generación de desechos. Usualmente cuando cantidades grandes son generadas, lugares especiales de gran capacidad son utilizados para contener los desechos acumulados durante varios días. Solo cuando pequeñas cantidades de desechos peligrosos son generados se pueden poner en contenedores para posteriormente taparlos y dejarlos almacenados en el contenedor por un tiempo de meses o años.

Se debe tomar en cuenta que la disposición de los desechos sólidos debe realizarse colocando los mismos al interior de los contenedores mencionados en el capítulo 5, y en lo posible tratando de mejorar este aspecto, pues en la actualidad todos los contenedores son metálicos; por ejemplo, ácidos

corrosivos o soluciones cáusticas deben usar contenedores de fibra de vidrio para prevenir el deterioro de los contenedores metálicos. Gran cuidado se debe tener para evitar el almacenamiento de desechos incompatibles, pudiendo causar daños a los manipuladores y al ambiente.

Los factores que se deben considerar en el almacenamiento in-situ de desechos sólidos incluyen:

- El tipo de recipiente a ser usado.
- La ubicación del recipiente.
- Métodos internos de recolección de los desechos.
- Espacio físico disponible para la disposición.

Los tipos y las capacidades de los recipientes usados dependen, en gran parte, de las características de los desechos sólidos a ser recolectados, la frecuencia de la recolección, el espacio disponible para colocar los recipientes. En el capítulo 5 se habla de la especificaciones de los recipientes (contenedores) ha ser utilizados para transporte y almacenamiento de desechos sólidos.

Los recipientes usados generalmente se colocan cerca de las instalaciones de cada Unidad Operativa para que los recolectores que circulan por las calles del complejo industrial tengan fácil acceso y no se produzcan accidentes.

Debe evitarse un extenso almacenamiento debido al costo que esto puede generar y a la responsabilidad legal, por esto lo recomendable es combinar la disposición controlada de los desechos sólidos con tecnologías de tratamiento/reducción eficientes.

El manejo de los desechos sólidos peligrosos en instalaciones de disposición controlada en el suelo requieren el seguimiento del desecho, eso es, el record del ciclo de vida del desecho desde su generación hasta su disposición final. Este record debe extenderse hasta la localización exacta final del desecho dentro del sitio de disposición final. Por esto se utilizan las denominadas celdas de contención. Estas pequeñas unidades mapeables se encuentran diseñadas en forma de cuadrículas.

La principal razón para un seguimiento cuidadoso y la disposición en celdas es asegurar la compatibilidad de los desechos. Como se vio en el capítulo 5 (ver ANEXO 5) los desechos sólidos incompatibles pueden reaccionar uno con otro, resultando en una potencial producción de calor, combustión o emisión de gases tóxicos. El conocer exactamente en que lugar se encuentra un

determinado desecho provee condiciones de operación segura para los operadores del sitio de disposición, así como una disposición a largo plazo segura con respecto a reacciones químicas potencialmente peligrosas. Propósitos adicionales de este seguimiento incluyen la recuperación segura de los recursos para someterlos a un tratamiento alternativo, así como la posibilidad de identificar defectos en el sistema en el caso de que se identifique la aparición de ciertos componentes específicos en el ambiente en un futuro.

Los desechos sólidos dispuestos en una instalación de celdas pueden tomar varias formas. Los desechos que se encuentran en contenedores son generalmente alineados y cubiertos con otros desechos como suelo contaminado o lodos, teniendo cuidado de que no se dañen los contenedores.

Son necesarios porque: otras tecnologías de gestión de desechos peligrosos no pueden eliminar el desecho generado, y; las tecnologías de tratamiento de desechos peligrosos como la incineración y el tratamiento biológico producen desechos.

Las celdas que se utilizan para constituyentes individuales de desechos son conocidos como monoceldas. Por ejemplo las cenizas de incineración, el amianto y otros desechos similares a menudo identificados como desechos especiales se colocan normalmente en monorellenos para aislarlos de los materiales colocados que pueden presentar características no compatibles con ellos.

Una celda es un emplazamiento permanente de desechos peligrosos, aunque en algunos casos los desechos ya han superado procesos previos de tratamiento antes de su depósito en el terreno. La celda puede ser en forma de zanjas relativamente profundas (método de trincheras o zanjas), en cavidades apiladas (método de área) o en depósitos extendidos mayoritaria o totalmente en la pendiente del terreno (método de pendiente o rampa). Una instalación de celdas suele contar con elementos de protección como los revestimientos para la contención de desechos y la eliminación o disminución de lixiviados en su lugar de origen, tanto en su planificación como durante su fase de operatividad. Entre las condiciones operacionales se encuentra la realización de una cobertura diaria al final de cada día operacional, la cobertura diaria consiste, en general, en una capa de suelo limpio de un pie de espesor; el objetivo es minimizar el olor, el transporte de contaminantes por la atmósfera, el potencial

contacto directo, además de maximizar la estética. Aunque las ventajas de la cobertura diaria son patentes, la colocación de suelo limpio no contaminado diariamente en una celda de desechos peligrosos es caro, y a la vez ocupa un valioso espacio en la celda. Además, la cobertura diaria origina un estrato altamente anisótropo, y por ello a menudo se produce la filtración por las capas de cobertura diaria relativamente permeable y las pendientes laterales.

La recolección y posterior tratamiento de lixiviados, como parte integral de cualquier instalación de disposición en el terreno de desechos peligrosos se hacen indispensables en las celdas debido a su generación como consecuencia de la precipitación mientras se está relleno una celda y de la infiltración tras cerrar ésta.

6.3 ALMACENAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL

Los desechos se deben separar en corrientes segregadas a excepción de aquellos designados como desechos para codisposición (en la refinería de Esmeraldas no existe esta práctica). La segregación de desechos es la forma principal de disminuir los costos de manipulación de desechos, almacenamiento y disposición. Las áreas de almacenamiento deben responder a la segregación de desechos. La separación de desechos se considerará en tres niveles: industrial general, peligroso y no peligroso. Los desechos peligrosos deben almacenarse de manera segura e identificarse claramente.

Con la implementación del Sistema de Gestión de Desechos Sólidos en la planta de la REE, se requiere mayor capacidad de almacenamiento para el excedente de producción de la refinería, especialmente cuando la instalación esté fuera de servicio (por actividades de mantenimiento). En el caso de la REE se deberá tener especial atención durante el desarrollo de los Paros de Planta, las cantidades de desechos generados aumentan considerablemente y por tanto se debe procurar no incrementar los volúmenes de desechos sólidos en almacenamiento temporal, sino más bien desalojarlos hacia el sitio final de disposición.

En el caso de los desechos producto de las tecnologías sugeridas de Incineración y fijación química, se debe disponer de los mismos tomando en

cuenta las mismas consideraciones que para el resto de desechos sólidos: en el caso de las cenizas del incinerador, tendría que realizarse un análisis para determinar el grado de peligrosidad de las mismas pues también podrían utilizarse en un proceso de encapsulamiento.

No es aceptable que los desechos sólidos se eliminen sin cuidado alguno en las áreas de disposición (como sucede con algunos desechos específicos en la REE que se mencionaran más adelante) o se dejen en el lugar o junto a las vías.

Todos los productos de desecho, en este caso los desechos sólidos deben limpiarse satisfactoriamente de contaminación de químicos, sal o hidrocarburos antes de su disposición.

Entre las opciones de disposición final de los desechos sólidos se incluye la venta a comerciantes de chatarra de los desechos metálicos, la venta a los recicladores y especialistas en reacondicionamiento de productos como los plásticos, cartón y madera.

Un desecho sólido que no está tomado en cuenta en la actualidad, y cuya disposición es desconocida (probablemente se incluye con los desechos de las unidades administrativas), son los filtros usados contaminados con productos de petróleo. Los mismos deben lavarse profundamente, se debe tratar de recuperar el petróleo, incinerar las partes combustibles (por lo cuál se añadiría un nuevo desecho al proceso de incineración) y compactar los componentes metálicos para su reciclado.

Como alternativa para deshacerse de la gran cantidad de chatarra metálica existente en el área de disposición final de desechos en la REE, se debe realizar el análisis químico para saber sino esta contaminada y poder dar en donación o venta a empresas de fundición del sector. En algunas áreas los negocios de chatarra y reciclado ofrecen la recolección de desechos no limpiados. Sin embargo, es responsabilidad del Supervisor de Control Ambiental (vacante actualmente) asegurar que la disposición o la recuperación de contaminantes cumplan con los estándares industriales. En caso de que en la ciudad de Esmeraldas u otra localidad del país no haya comercializadores de chatarra que puedan hacerse cargo entonces, si fuese posible, debe recolectarse los desechos metálicos del lugar para su disposición en una instalación de relleno aprobada. Si esto no se puede llevar a cabo, el metal

debe enterrarse en el lugar y cubrirse por lo menos con un metro de capa superficial del suelo.

6.3.1 DESECHOS ESPECIALES

En la Tabla 6.3 a continuación se puede observar la manera en que se dispondrá de los desechos sólidos especiales producidos en la REE:

Tabla 6.3. Disposición final de los desechos sólidos especiales.

<i>MATERIAL</i>	<i>CLASE</i>	<i>CANTIDAD ton/año</i>	<i>DESTINO</i>
Restos material refractario	A	50	Reciclaje
Catalizador FCC	A	50	Fijación química - Ladrillos
Hollín hornos y calderos	A	2	Celdas
Trapos y estopas contaminadas con aceite	A	5	Incineración
Coque impregnado con catalizador FCC	A	5	Celdas
Grana impregnada con aceite	A	20	Landfarming
Lama aceitosa tratamiento desechos industriales	A	300	Landfarming
Restos de tanques de crudo	A	100	Landfarming
Restos otros tanque de almacenamiento	A	15	Landfarming
Restos ropa contaminada	A	5	Incineración
Juntas de amianto y galletas	A	0,5	Celdas
Característicos de dispensario médico	A	0.1	Incineración
Cenizas de incineración	A		Celdas

El cálculo del número de celdas requeridas para albergar los desechos especiales que se someterán a confinamiento permanente se realiza dividiendo el volumen estimado del desecho en el lapso de 5 años entre el volumen de cada una de las celdas (4.5 m³). En la Tabla 6.4 se lo puede apreciar:

Tabla 6.4. Estimación del número de celdas requeridas para confinamiento de desechos sólidos especiales que lo ameriten.

<i>MATERIAL</i>	<i>CANTIDAD ton/año</i>	<i>F.S.</i>	<i>Peso Anual</i>	<i>Cantidad en 5 años</i>	<i>δ (ton/m³)</i>	<i>m³/5años</i>	<i>No. Celdas calculado</i>	<i>No. Celdas a utilizar</i>
Coque impregnado con catalizador FCC	5	1,22	6,11	30,56	0,93	32,86	7,3	8
Embalaje productos químicos	5	1,22	6,11	30,56	2,5	12,22	2,7	3
Hollín hornos y calderos	2	1,22	2,44	12,22	0,93	13,14	2,9	3
Juntas de amianto y galletas	0,5	1,22	0,61	3,06	6,7	0,46	0,1	1

La aplicación o uso de los desechos sólidos (suelo contaminado, lodos con hidrocarburos), luego de ser biorremediados en la/las piscinas de landfarming depende del uso posterior a darse al suelo, que debe tener límites permisibles de algunas sustancias como se puede observar en la Tabla 6.5, Anexo del Reglamento Ambiental de Operaciones Hidrocarburíferas del Ecuador.

De presentar los suelos naturales (no contaminados) del área concentraciones superiores a los límites establecidos, se pueden incrementar los valores del respectivo parámetro hasta este nivel, siempre que se haya comprobado este fenómeno estadísticamente a través de un monitoreo de suelos no perturbados ni influenciados en el mismo área.

Tabla 6.5. Límites permisibles para la identificación y remediación de suelos contaminados en todas las fases de la industria Hidrocarburífera, incluidas las estaciones de servicios.

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

1) Expresado en base de sustancia seca (gravimétrico; 105°C, 24 horas).

2) Valores límites permisibles enfocados en la protección de suelos y cultivos.

3) Valores límites permisibles para sitios de uso industrial (construcciones, etc.).

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

Fuente: Decreto 1215, denominado Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador.

6.3.2 DESECHOS INERTES

La forma en que se dispondrá de los desechos sólidos inertes producidos en la REE se presenta a continuación en la Tabla 6.6:

Tabla 6.6. Disposición final de los desechos sólidos inertes.

<i>MATERIAL</i>	<i>CLASE</i>	<i>CANTIDAD ton/año</i>	<i>DESTINO</i>
Restos material aislante térmico	C	1	Celdas
Arena con aceite	C	200	Landfarming
Restos áreas diques y cubetos	C	40	Landfarming
Embalaje catalizador FCC	C	10	Incineración
Embalaje productos químicos	C	5	Incineración
Recipientes vidrio y otros	C	1	Celdas
Lámparas y luminarias	C	0,5	Celdas
Pedazos de manguera y lona	C	1	Incineración

El cálculo del número de celdas requeridas para albergar los desechos especiales que se someterán a confinamiento permanente se aprecia en la tabla 6.7:

Tabla 6.7. Estimación del número de celdas requeridas para confinamiento de desechos sólidos especiales que lo ameriten.

MATERIAL	CANTIDAD ton/año	F.S.	Cantidad en 5 años	δ □ □ (ton/m³)	m³/5años	No. Celdas calculado	No. Celdas a utilizar
Restos material aislante térmico	1	1,22	6,11	0,4	15,28	3,4	4
Recipientes vidrio y otros	1	1,22	6,11	2,5	2,44	0,5	1
Lámparas y luminarias	0,5	1,22	3,06	2,5	1,22	0,3	1

6.3.3 DESECHOS METÁLICOS

Dentro del Sistema de Gestión de Desechos Sólidos de la REE, los desechos metálicos que deben ser dispuestos en el área de confinamiento de la REE deben tener un volumen reducido o nulo si fuese posible, puesto que es primordial encontrar opciones viables de reciclaje/reutilización para todos ellos. Sin embargo mientras no se pueda ejecutar un proyecto como el mencionado, la chatarra metálica de tamaño considerable como tambores metálicos y partes de repuesto desgastadas tendrán que seguir siendo ubicadas de manera temporal en el área externa de desechos. Sin embargo se recomienda que estos materiales no se pongan en contacto directo con el suelo como se lo hace en la actualidad, por el contenido de metales pesados presente en las aleaciones de muchos de ellos.

Igualmente los desechos metálicos menores (viruta), deberán disponerse en celdas de manera temporal como se ha venido realizando hasta encontrar una opción viable de reciclaje. En la tabla 6.8 a continuación se observa el destino

de estos desechos y el número de celdas requeridas para su disposición temporal:

Tabla 6.8 Disposición final de los desechos metálicos y estimación del número de celdas requeridas para confinamiento temporal de los mismos.

<i>MATERIAL</i>					<i>CLASE</i>	<i>CANTIDAD ton/año</i>	<i>DESTINO</i>
Desechos metálicos menores y mayores					D	80	Celdas y Área Externa
<i>CANTIDAD ton/año</i>	<i>F.S.</i>	<i>Cantidad en 5 años</i>	<i>Densidad en Kg/ m³</i>	<i>δ (ton/m³)</i>	<i>m³/5años</i>	<i>No. Celdas calculado</i>	<i>No. Celdas a utilizar</i>
80	97,78	488,89	8600	8,6	56,85	12,6	13

6.3.4 DESECHOS DEGRADABLES

Todos aquellos desechos degradables generados en la refinería, deben someterse antes de su traslado al basurero municipal a una reducción mecánica de su volumen, lo que facilitará su manipulación. Una segregación adecuada de los mismos, facilitará además la implementación de un programa de reciclaje de papel, cartón y plásticos.

Los desechos sólidos orgánicos deberán ser enviados al botadero municipal, aunque deberían empezar a analizarse opciones como la construcción de un pozo séptico donde se podrían disponer dichos desechos, lo que conllevaría un ahorro en el largo plazo.

La disposición o destino de los desechos sólidos degradables de la REE se muestra a continuación en la Tabla 6.9:

Tabla 6.9 Disposición final de los desechos sólidos degradables generados en la REE.

<i>MATERIAL</i>	<i>CLASE</i>	<i>CANTIDAD ton/año</i>	<i>DESTINO</i>
Desechos de madera, papel y cartón	B	40	Reciclable
Orgánicos (residuos de alimentos)	B	20	Botadero Municipal
Plásticos no contaminados varios	B	2	Reciclaje

6.4 MANIFIESTO

El manifiesto que debe acompañar todos aquellos embarques de desechos sólidos que se pretendan disponer en el área externa de la REE, debe constar principalmente de los siguientes registros:

- Persona quien entrega el desecho.
- Naturaleza de los desechos.
- Fecha y lugar de disposición.

El Manifiesto diseñado para que acompañe toda operación de disposición de desechos sólidos generados en las instalaciones de la REE se puede apreciar en el Anexo 7.

CAPÍTULO 7

ANÁLISIS ECONÓMICO FINANCIERO

7.1 ANÁLISIS ECONÓMICO FINANCIERO

La aplicación correcta de los principios económicos a la solución de problemas ambientales es esencial con miras a identificar e implementar las soluciones más efectivas desde el punto de vista del costo. En la mayoría de proyectos a fin de tomar las decisiones de inversión, los costos de inversión se comparan con la recuperación de capital a fin de establecer la viabilidad del proyecto propuesto; sin embargo en proyectos como éste (y en muchos proyectos ambientales), la recuperación de la inversión así como el costo que representa la no implementación del mismo es difícil de cuantificar.

El costo de no implementación del proyecto de Gestión de Desechos Sólidos en la REE debe ser analizado en términos del impacto ambiental generado. Un impacto ambiental puede involucrar alteraciones que pueden ser medidas en relación con las actividades productivas, o alteraciones mensurables en cuanto a la calidad ambiental. Los valores económicos de las alteraciones proyectadas en los precios de los terrenos (causadas por la contaminación), la pérdida de ganancias, o el costo de reemplazar un recurso perdido, pueden ser empleados para estimar los costos resultantes.

Deberían incluirse los costos del daño ambiental inevitable, no mitigado o residual, así como los beneficios cuantificables de naturaleza ambiental. Por ejemplo la devaluación de áreas por proximidad a sitios de tratamiento o disposición final de desechos sólidos, o el beneficio que significaría la recuperación de suelos mediante biotratamiento.

También se debe incluir, por ejemplo, tierras agrícolas o forestales que han sido tomadas para la implementación del proyecto (ubicadas en los alrededores de la REE), los costos de la contaminación ambiental y los costos asociados a problemas de salud pública.

Sin embargo no es el objetivo de este proyecto de tesis determinar el impacto ambiental generado por la no implementación del mismo con sus costos subsecuentes, así como el beneficio económico exacto consecuencia de la mitigación del impacto ambiental que las prácticas relacionadas con el mal manejo de los desechos sólidos al interior de la refinería ocasionan actualmente. El análisis detallado de estos factores representa un nuevo proyecto relacionado con la economía ambiental, y a fin de determinar los niveles y costos de la mitigación incluso sería necesario esperar a que la implementación del presente proyecto empiece a dar sus primeros frutos.

Adicionalmente existen dos razones fundamentales por las que no se pueden incluir todas las variables relacionadas con los impactos socio ambientales en el análisis costo/beneficio del presente proyecto:

- La ausencia de cuentas ambientales en el país; es decir, no se ha puesto un precio a cada uno de los recursos naturales que el Ecuador posee, y esto imposibilita cuantificar el valor económico o el costo en dinero de afectar los mismos (agua, suelo, aire etc...) de manera específica; tampoco se ha establecido una manera para cuantificar el costo de afecciones a la salud provocadas por contaminación. Este tipo de análisis se vuelve subjetivo puesto que la vida humana no tiene precio.
- El lugar de aplicación del presente proyecto (las instalaciones de la Refinería Estatal de Esmeraldas) pertenece a Petroindustrial, que es una empresa que pertenece al Estado Ecuatoriano. Por tanto el suelo donde se halla asentada la misma es de propiedad del estado; y si bien la disposición final de los desechos afecta principalmente al suelo de la REE, el mismo estado es el ente que rige la aplicación de las leyes ambientales, por lo que este aspecto no representa una preocupación inmediata.

A continuación en la Tabla 7.1 se presentan los costos iniciales y de operación y mantenimiento de las alternativas seleccionadas para el tratamiento de los diferentes desechos sólidos, así como el costo anual relacionado con el transporte y disposición final de los mismos.

Tabla 7.1. Costos de las maquinarias y factores de costo, de retorno de capital y de valor actual.

Maquinaria	Precio	Factor de Costo	Valor Presente	Factor de Retorno de Capital	Factor de Valor Actual
Compactador	40000	0.0573	2292	0.1061	9.4269
Incinerador	150000		8596		
Mezcladora de Cemento	2000		115		

TOTAL (USD)	192000
--------------------	---------------

Rubro	Factor de Costo	Valor Presente
Ingeniería	0.10	19200
Contingencias	0.20	38400
COSTO INICIAL TOTAL (USD)		249600

Para la estimación de estos valores se tomó en cuenta la duración del proyecto que es de 30 años (vida útil estimada de la Refinería Estatal de Esmeraldas) y una tasa de descuento del 10%.

En la Tabla 7.2 se han establecido los costos anuales de la operación y mantenimiento tomando en cuenta todos los componentes del Sistema de Gestión de Desechos Sólidos en la REE:

Tabla 7.2. Costos anuales de operación y mantenimiento.

Rubro	Costo de Operación y Mantenimiento	Costo de Capital Actualizado	Costo Anual Total	Costo Total Actual
Compactación	3500	20371	23871	290233

Tabla 7.2. Costos anuales de operación y mantenimiento. (Continuación)

Rubro	Costo de Operación y Mantenimiento	Costo de Capital Actualizado	Costo Anual Total	Costo Total Actual
Incineración	8000	20371	28371	344946
Fijación Química	12500		32871	399659
Landfarming	22000		42371	515163
Transporte y otros	50000		70371	664000
TOTAL (USD)				197855

Los únicos ingresos económicos tangibles en la actualidad que se pueden obtener de la gestión correcta de los desechos sólidos, se consiguen de la venta de chatarra para su reciclaje, del azufre sólido como materia prima para la producción de ácido sulfúrico y la exportación de slop. Para la determinación de estos valores se tomó en cuenta una duración del proyecto de 30 años, una inflación del 2.88% y una Tasa de descuento del 10%. Los valores obtenidos se presentan en la Tabla 7.3, además los flujos de caja completos para los 30 años supuestos como duración del proyecto se pueden observar en el Anexo 9.

Tabla 7.3. Detalle de los ingresos económicos producto de la venta de chatarra, azufre y slop.

Producto	Valor de recuperación anual	Factor de Costo	Valor Presente (USD)
Chatarra	4000	0.0573	48634
Azufre	160		1945
Slop	45000		547128
		TOTAL	597707

Con estos valores podemos obtener la relación costo/beneficio, que se obtiene de dividir todos los gastos durante el tiempo de vida del proyecto entre los ingresos; en este caso sería: $Costo / Beneficio = \frac{2214001USD + 249600USD}{597707USD} = 4.12$

Como puede observarse, la relación costo/beneficio existente (4.12) es muy alta a simple vista. En el caso de un proyecto común donde se analiza un producto comercial, o donde el objetivo del proyecto es obtener réditos económicos inmediatos, el valor de la relación costo/beneficio indicaría que el proyecto no debería aplicarse. Sin embargo por tratarse de un proyecto ambiental, el criterio no es el mismo.

Puesto que el presente proyecto pretende ser una medida de mitigación a los impactos ambientales indeseados producto del manejo inadecuado de los desechos sólidos generados en la REE, al momento de analizar la evaluación económica del mismo debe responderse a las siguientes interrogantes:

1. “La diferencia existente en cuanto al daño ambiental, contando con la mitigación producto del proyecto, y sin la misma, ¿bien vale el costo de la mitigación?”;
2. “La medida de mitigación seleccionada (en este caso los tratamientos seleccionados para cada uno de los desechos generados y su método de disposición) es la manera más eficaz en términos económicos, de alcanzar el estándar ambiental (o de cumplir con la ley o reglamentación)?”; y
3. “¿Qué beneficios económicos se obtendrán directa o indirectamente del proyecto en el corto, mediano, y largo plazo?”

La diferencia existente en cuanto a la reducción del daño ambiental con la implementación del proyecto sería notoria, pues se reducirían focos de contaminación al interior y exterior de la refinería, se aseguraría la trazabilidad del ciclo de vida que cumple cada uno de los desechos sólidos, y se prevendrían daños a la salud y al ambiente ocasionados por componentes peligrosos presentes en los mismos. El costo de mitigación ligado al proyecto es necesario, como se ha mencionado y sugerido en auditorías ambientales realizadas en la REE.

En cuanto a si la selección de las alternativas de tratamiento escogidas es la más eficaz en términos económicos, el análisis realizado en las matrices de

selección de tratamientos para los distintos tipos de desechos considerados (Ver Anexo 4), incluyó un factor de costo el cuál tuvo el mayor peso (60%) debido a que Petroecuador se rige por la Ley de Contratación Pública, además de este factor se valoraron distintos aspectos técnico-ambientales para garantizar el equilibrio entre los aspectos técnico-económico-ambiental.

Finalmente entre la variedad de beneficios que se pueden avizorar para la REE al implementar el Sistema de Gestión de Desechos Sólidos en las diferentes etapas, que podrán ser cuantificados con el paso del tiempo y que pueden redundar en ingresos económicos hacia Petroindustrial indirectamente, se encuentran:

- Aumento de la motivación de empleados al involucrarlos plenamente en la gestión medioambiental.
- Ahorros en materias primas, transporte y manipulación de materiales, operación y mantenimiento.
- Posibles beneficios fiscales.
- Ahorro en pago de seguros e indemnizaciones.
- Mejora de la imagen corporativa de la Refinería Estatal de Esmeraldas frente a los organismos reguladores, los clientes y el público en general. Esto sería muy útil considerando la situación de tensión existente en la actualidad entre la Municipalidad de la ciudad de Esmeraldas apoyada por la ciudadanía, y la REE; por ser considerada la causante directa de afecciones a la salud de los pobladores producto de la contaminación que emana.
- Una gestión positiva de los desechos sólidos por medio de este proyecto, podría establecer un marco para iniciar una cultura de mejora continua en el desempeño ambiental de la refinería.

CAPÍTULO 8

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 CONCLUSIONES

- La ingeniería en el manejo de desechos sólidos industriales ha evolucionado a pasos agigantados; el conocimiento adquirido a través de investigaciones y experiencias obtenidas de la puesta en práctica, han permitido la implementación de tecnologías y procedimientos mucho más eficientes para realizar una gestión ambiental y económicamente correcta de los desechos sólidos en el mundo. A pesar de que en el país, el procesamiento de los desechos sólidos especialmente peligrosos aún no está completamente desarrollado y controlado, la información existente facilita realizar estudios de este tipo. La REE se beneficia en este aspecto de la gran cantidad de información que se puede hallar de este tema, desarrollada principalmente por instituciones internacionales como la API, y de compañías privadas que han puesto esfuerzos para disminuir al máximo los efectos contaminantes de sus prácticas petroleras.
- No se puede aplicar solamente una de las tecnologías analizadas para solucionar la problemática generada por los desechos sólidos en la REE. Considerando la diversidad de las características de los mismos y su volumen, es necesario combinarlos incluso con una disposición final controlada donde se toman precauciones a fin de minimizar las posibilidades de daño al ambiente y lograr una mejor gestión de los desechos. Dada la situación actual en el aspecto de infraestructura que posee la REE, se concluye que las tecnologías de compactación (para desechos de áreas administrativas), landfarming, fijación química e incineración son opciones satisfactorias como tratamiento para los desechos sólidos en los aspectos técnico-económico-ambiental .

- La alternativa de incinerar los desechos peligrosos en la REE, es una opción confiable cuyos beneficios se verán en el mediano y largo plazo (principalmente prolongaría la vida útil del área externa de confinamiento de desechos). Deberá analizarse la posibilidad de poner en funcionamiento el incinerador con el que cuenta la refinería, el cuál se encuentra averiado; o adquirir un incinerador de pequeña capacidad.
- La tecnología de landfarming, ofrece los mejores beneficios tanto ambiental como económicamente para el tratamiento de los desechos semisólidos (lodos) y suelo contaminado con crudo existentes en la refinería. Es por eso que esta práctica debe perfeccionarse y extenderse en el área externa de desechos. La utilización de productos existentes en el mercado con este fin específico puede significar una gran ayuda.
- El transporte de los desechos sólidos tanto al interior como al exterior de la REE en caso de que así se lo requiera, debe estar regido por las normas de seguridad mencionadas, y se debe empezar a llevar un registro adecuado de los desplazamientos que se realizan de los mismos a fin de identificar fallas del sistema de gestión de los desechos en un futuro para su pronta corrección.
- La disposición final de los desechos sólidos en las celdas de confinamiento es una buena práctica de almacenamiento permanente, siempre y cuando no se abuse de ella. En la REE deben implementarse las opciones de reciclaje y/o reutilización de aquellos desechos que así lo permitan a fin de prolongar la vida útil de este vertedero. Igualmente es necesario que se encuentre un uso a los suelos biorremediados en las piscinas de landfarming.
- En la REE no se ha tratado de implementar buenas prácticas para el manejo de los desechos sólidos. Las mismas redundan en la reducción de la cantidad de desechos, y minimización de los riesgos que estos producen.

- A pesar de que en el país existen leyes, regulaciones y normas ambientales enfocadas a tratar el problema de los desechos sólidos industriales y de la misma industria petrolera, en la REE existe gran desconocimiento de las mismas, o simplemente existe incapacidad o falta de recursos para llevar a cabo las prácticas promulgadas.
- Las alternativas seleccionadas dependieron de un análisis técnico-económico de cada una de las opciones y su factibilidad de aplicación. La situación ideal consistió en seleccionar la alternativa que recicle al máximo, tomando en cuenta aspectos como: reducción y contención de la contaminación, operación y mantenimiento, gestión y monitoreo, factor de seguridad, desempeño probado, constructibilidad, operabilidad, factibilidad regulatoria, riesgos ambientales y a la salud, seguridad de los trabajadores y tiempo de implementación; que además incurran en el menor costo de tratamiento.
- En caso de que se encontrasen alternativas viables para el reciclaje o reutilización de aquellos desechos que puedan aplicar a estas opciones como: Restos material refractario, Catalizador FCC, Embalaje catalizador FCC, Residuos de madera, papel y cartón. La cantidad de desechos sólidos ha ser manejados por la refinería se reduciría en un 16.11%, implicando un gran ahorro.
- El análisis económico-financiero de proyectos ambientales en el Ecuador requiere ser analizado tomando en cuenta el impacto ambiental que mitigan, y considerando los beneficios económicos que son intangibles en el corto plazo; desafortunadamente la ausencia de cuentas ambientales en el país no permite cuantificar los mismos.
- Se puede observar que solamente con la implementación de tres buenas prácticas para minimizar los desechos sólidos a ser manejados (venta para reciclaje de chatarra, venta de azufre como materia prima, y exportación de slop), se obtienen grandes beneficios económicos en el largo plazo. Deben

tratar de aplicarse otras prácticas de minimización de desechos como las sugeridas para tratar de buscar réditos de las mismas.

8.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda que instituciones petroleras, como la REE, investiguen más a fondo a cerca de los desechos sólidos que ellos producen y así tengan una información completa, con lo cual pueden obtener mejores resultados en los posteriores tratamientos, con lo cual se reduciría en gran porcentaje la contaminación existente.
- La incineración es un tratamiento exitoso a nivel mundial, por lo que se recomienda la implementación en el corto plazo ya que la relación costo-beneficio ambiental es baja y además mejora la imagen del área de confinamiento; o a su vez se trate de reparar y poner en funcionamiento el incinerador que posee la REE.
- La tecnología de landfarming será muy beneficiosa en la recuperación de compuestos y materiales contaminados con hidrocarburos, por lo que es una de las opciones que se recomienda, ya que después de su regeneración esos lodos tratados pueden servir como compostaje, es decir, abono natural.
- Para el transporte se recomienda seguir al pie de la letra, las leyes y normas nacionales, para así poder evitar accidentes que pueden causar una gran contaminación del ambiente y mas que nada evitar algún tipo de catástrofe en el interior de la REE. Y de forma principal se pide llenar cuidadosa y verídicamente el manifiesto para el transporte.
- La disposición adecuada de los desechos sólidos en el área externa de la REE, permitirá generar una imagen ambiental digna de una empresa de elite, con lo cual ayudaran a preservar el medio ambiente. Es importante recomendar el uso adecuado del manifiesto, con lo cual se sabrá

exactamente que tipos de desechos ingresan a esta área de vital importancia.

- Se recomienda que exista una persona encargada de la supervisión de las acciones que se realizan en la REE, para así cumplir de manera exitosa con las leyes y regulaciones impuestas para las empresas industriales petroleras, con lo cual reducirá notablemente la contaminación al medio ambiente.
- Para la selección de alternativas tecnológicas, el factor económico es el más importante, debido a la Ley de Contratación Pública, lo que obliga a la selección de tratamientos efectivos, de calidad y de bajo presupuesto.
- Tanto la Gerencia de Protección Ambiental de Petroecuador, y la Unidad de Protección Ambiental de Petroindustrial deben continuar buscando métodos para cuantificar los impactos causados por sus operaciones expresados en unidades monetarias. Esto puede ser una gran ayuda para concientizar en la necesidad de implementar planes de Gestión Ambiental.