



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA TERMÓLISIS APLICADA AL TRATAMIENTO DE DESECHOS SÓLIDOS

Blanca Isabel Ariza Ordóñez

Asesorado por el Ing. Otto Raúl De León De Paz

Guatemala, mayo de 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA TERMÓLISIS APLICADA AL
TRATAMIENTO DE DESECHOS SÓLIDOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

BLANCA ISABEL ARIZA ORDÓÑEZ

ASESORADO POR EL ING. OTTO RAUL DE LEON DE PAZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, MAYO DE 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE LA JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Martiza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Jorge Emilio Godinez
EXAMINADOR	Ing. César Alfonso García Guerra
EXAMINADOR	Ing. Francisco Aben Rosales Cerezo
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA TERMÓLISIS APLICADA AL TRATAMIENTO DE DESECHOS SÓLIDOS.

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, el 18 de septiembre de 2007.



Blanca Isabel Ariza Ordóñez

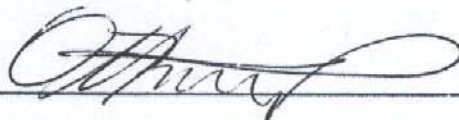
Guatemala, 18 de Enero del 2008

Ing. Williams Álvarez Mejía
Director de Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
USAC

Respetuosamente me dirijo a usted para hacer de su conocimiento que he revisado el informe final del graduación titulado **FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA TERMÓLISIS APLICADA AL TRATAMIENTO DE DESECHOS SÓLIDOS**, desarrollado por la estudiante de la carrera de Ingeniería Química ***Blanca Isabel Ariza Ordóñez***, carné **9516102**.

Por lo cual después de haber realizado la revisión del respectivo informe y de haberle hecho las correcciones pertinentes, considero que llena los requisitos para su aprobación.

Respetuosamente



Ing. Qco. Otto Raúl De León De Paz
ASESOR



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Guatemala, 13 de mayo del 2008
Ref. EIQ.0122.2008

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente.

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el Acta TG-010-08-B-IF le informo que reunidos los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del informe final del trabajo de graduación, para optar al título de INGENIERA QUÍMICA a la estudiante universitaria **BLANCA ISABEL ARIZA ORDOÑEZ**, identificada con carné No. **95-16102**, titulado: **FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA TERMÓLISIS APLICADA AL TRATAMIENTO DE DESECHOS SÓLIDOS**, el cual ha sido asesorado por el Ingeniero Químico Otto Raúl De León De Paz como consta en el Acta.

Habiendo encontrado el referido informe final **satisfactorio**, se procede a recomendarle autorice a la estudiante **ARIZA ORDOÑEZ** proceder con los trámites requeridos de acuerdo a normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Inga. Teresa Lisely de León Arana, M.Sc.

COORDINADORA
Tribunal que revisó el informe final
Del trabajo de graduación

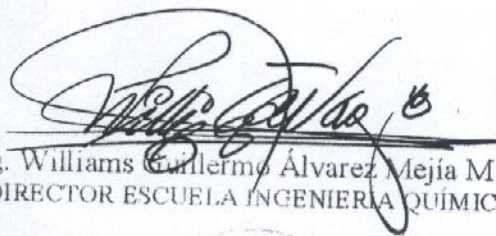


ESCUELA DE
INGENIERIA QUI



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA.

El Director de la Escuela de Ingeniería Química Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía M. Sc. Después de conocer el dictamen del Asesor con el Visto Bueno del Jefe del Departamento al trabajo de Graduación de la estudiante **Blanca Isabel Ariza Ordoñez** titulado: "FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA TERMÓLISIS APLICADA AL TRATAMIENTO DE DESECHOS SÓLIDOS", procede a la autorización del mismo.



Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía M Sc.
DIRECTOR ESCUELA INGENIERIA QUÍMICA



Guatemala, mayo de 2,008

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por darme la grandeza para entender, la capacidad de retener, el método y la facultad para aprender, la sutileza para interpretar, y la perfección para acabar con éxito todas mis metas.
- Virgen Maria** Por iluminar con tu dulzura y amor mi camino.
- Mis padres** Guillermo Ariza Soto
Cilia Iliana de Ariza
Mis maestros de vida que a través de su ejemplo y de un hogar iluminado con amor, respeto, apoyo me ayudaron a crecer y madurar en una triunfal evolución.
- Mis hermanas** Dra. Maricruz Ariza
Lic. Diana Ariza
Mis grandes compañeras de batalla en ese largo camino lleno de ilusiones que hoy veo coronado.
- Mi Abuelita** Blanca Lidia Ordóñez
Muchas Gracias
- Mi cuñado** Douglas Zelada
Con Cariño
- Mi sobrino** Te esperamos con todo el amor del mundo.
- Mis amigos** Lourdes Ramírez, Carla Escobar, Anabella Cardona, Karla Esquivel, por su cariño y compañía.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala

Por enseñarme que para hacer la diferencia y lograr la entrada de nuestro país en la senda del progreso y el bienestar es necesario un mayor empeño puesto en nuestros actos y un cambio en nuestra actitud.

**Facultad de Ingeniería,
especialmente a la Escuela de Ingeniería Química**

Por haberme brindado las bases necesarias para formarme como profesional.

A mis asesores y revisora

Ing. Otto Raúl De León De Paz

Ing. Luis Alfonso Cruz Gordillo

Inga. Lisely de León Arana

Cuya visión hizo posible la realización de este trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XV
OBJETIVOS	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. MANEJO INTEGRAL DE LOS DESECHOS SÓLIDOS	1
1.1 Definición de manejo integral	1
1.2 La jerarquía de los desechos sólidos	1
1.3 Elementos del manejo integral de desechos sólidos	3
1.4 Clasificación de las opciones de gestión integrada de desechos aprovechables	4
1.4.1 Reciclaje y reuso de material	6
1.4.2 Reducción en origen, procesamiento y separación	6
1.4.2.1 Separación o clasificación por tamaño	7
1.4.2.2 Separación por densidad	8
1.4.2.3 Separación por cambio eléctrico y magnético	9
1.4.2.4 Compactación	11
1.4.2.5 Manejo mecánico de materiales	13
1.4.2.6 Separación y procesamiento en industrias centralizadas	14
1.4.3 Procesamiento Térmico	16
1.4.3.1 Incineración	16
1.4.3.2 Pirolisis y Desgasificación	16
1.4.3.3 Termólisis	17
1.4.3.4 Producción de Energía y Gasificación	17
1.4.3.5 Tratamiento Integral (en masa)	18

1.4.4 Conversión Biológica y Química	18
1.4.4.1 Compostaje Aerobio	18
1.4.4.2 Lombricultura	19
1.4.4.3 Biogeneración	19
1.4.4.4 Proceso de transformación química	20
1.4.5 Disposición final: Rellenos Sanitario	20
2. LA TERMÓLISIS COMO MÉTODO DE PROCESAMIENTO TERMICO APLICADO AL TRATAMIENTO DE DESECHOS SÓLIDOS	21
2.1 Antecedentes de la Termólisis	21
2.2 Reseña Histórica de la Termólisis en Colombia	22
2.2.1 Visión de Termólisis y Reciclaje de Colombia ESP SCA	23
2.2.2 Documentos Termólisis en Colombia	23
2.2.3 Leyes y Decretos en Colombia	24
2.3 La Termólisis en Europa	24
2.4 Definición de Termólisis	26
2.5 Principios de la Termólisis	26
2.6 Ventajas de la Termólisis	28
2.6.1 Ventajas generales	28
2.6.2 Reutilización y reciclaje	28
2.6.3 Objetivos medioambientales	29
2.6.4 Objetivos técnicos	30
2.6.4.1 Objetivo tecnológico	31
2.6.4.2 Objetivo industrial	31
2.6.4.3 Objetivo económico	32
2.6.5 Ventajas técnicas medioambientales	32
2.7 Otras aplicaciones de la Termólisis	33
2.7.1 La Termólisis como tecnología disponible para el tratamiento	34

de llantas usadas

3. INSTALACIONES DE TERMÓLISIS	37
3.1 Planta de Termólisis generadora de energía eléctrica, mediante Biomasa	37
3.1.1 Definición Biomasa	37
3.1.2 Proceso de Termólisis	38
3.1.3 Fundamentos fisicoquímicos	38
3.1.4 Reacciones química	40
3.1.5 Descripción del equipo para generar energía eléctrica con Biomasa	45
3.1.5.1 Primer módulo: separación de residuos	45
3.1.5.2 Segundo módulo: termolización	47
3.1.5.3 Tercer módulo: Generación de Energía Eléctrica	48
3.1.6 Oferta	53
3.2 Planta Industrial de demostración	53
3.2.1 Constitución de una planta procesadora	54
3.2.1.1 Los subconjuntos	54
3.2.1.1.1 Secuencia del reciclado	54
3.2.1.1.2 Secuencia de valoración térmica	55
3.2.1.1.3 Secuencia de inertización	55
3.2.1.2 Preparación de productos	55
3.2.1.2.1 Los equipos	56
3.2.1.3 El Secado de los Productos	57
3.2.1.4 La Termolización	57
3.2.1.5 El Tratamiento de gases	58
3.2.1.6 El Tratamiento de Sólidos	59
3.2.1.7 El Tratamiento del Agua	59
3.2.2 Productos en los Procesos	60

3.2.2.1	Productos entrantes	60
3.2.2.2	Productos intermedios	60
3.2.2.3	Productos salientes	63
3.2.2.3.1	Los humos	63
3.2.2.3.2	El Agua	64
3.2.2.3.3	Los Inertes	64
3.2.3	Esquemas de Flujos y Diagramas	65
3.2.4	Termólisis de Desechos Sólidos Urbanos	67
3.2.5	Capacidad y Funcionamiento de la Planta de Termólisis para Desechos Sólidos Urbanos	76
3.3	Instalaciones Modulares para Termólisis en Colombia	77
3.3.1	Proceso de Termólisis para instalaciones modulares	77
3.3.2	Equipo Requerido en instalaciones modulares	78
3.3.3	Estado Tecnológico	79
3.3.4	Aplicabilidad	80
3.3.5	Limitaciones	80
3.3.6	Ventajas	80
3.3.7	Desventajas	81
3.3.8	Confiabilidad	81
3.3.9	Experiencia en otros países	81
3.3.10	Implementación en Colombia	81
3.3.11	Análisis de parámetros legales, instituciones, financieros, técnicos y ambientales	82
3.3.12	Impacto Ambiental	82
3.3.13	Control y mitigación ambiental	82
3.3.14	Nivel de complejidad	83
3.3.15	Costos aproximados	83
3.4	Equipo de Termólisis controlada del tipo vertical	83

3.4.1	Termólisis controlada del tipo vertical	84
3.4.2	Características fisicoquímicas de desechos sólidos empleados en la termólisis controlada del tipo vertical	84
3.4.3	Aplicación de la termólisis controlada del tipo vertical	85
3.4.4	Productos de la termólisis controlada del tipo vertical	85
3.4.5	Descripción del equipo de termólisis controlada del tipo vertical	86
3.4.6	Etapas de la termólisis controlada del tipo vertical	89
3.4.6.1	Recolección y Transporte	89
3.4.6.2	Trituración	90
3.4.6.3	Secado	90
3.4.6.4	Degradación Térmica	90
3.4.6.5	Tratamiento de los Productos	91
4.	LA TERMÓLISIS FRENTE A OTROS TECNOLOGÍAS EMPLEADAS EN EL TRATAMIENTO DE DESECHOS SÓLIDOS	93
4.1	Definición de Incineración	93
4.2	Definición de Rellenos Sanitarios	93
4.3	La Termólisis vrs. la incineración y los Rellenos Sanitarios	94
	CONCLUSIONES	97
	RECOMENDACIONES	99
	BIBLIOGRAFÍA	101
	ANEXOS	103

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Gestión diferenciada de desechos aprovechables y basura	5
2. Tromel para separación de livianos y pesados (Separación mecánica)	46
3. Patio de separación y reciclaje, mediante bandas transportadoras (Separación manual)	47
4. Termolización	48
5. Generación de energía eléctrica	49
6. Diagrama de Flujo de los tres procesos para generación de energía eléctrica con Biomasa	50
7. Mercado objetivo	51
8. Fotografía de las instalaciones de termólisis y reciclaje de Colombia ESP SCA	52
9. Diagrama de flujo de los pasos del proceso de termólisis	65
10. Trituración y secado de los productos brutos (primera etapa)	67
11. Termólisis de los productos secos (segunda etapa)	68
12. Separación de productos termolizados y lavado de gas (tercera etapa)	69
13. Separación y purificación de sólidos (cuarta etapa)	70
14. Descripción del proceso de termólisis de desechos sólidos urbanos	71
15. Fotografía de una fábrica virtual de thermolysis®	73
16. Esquema de principio del proceso de thermolysis®	74
17. Croquis de una línea de thermolysis®	76
18. Esquema del equipo modular	79
19. Reactor de Termólisis controlada del tipo vertical	88

TABLAS

I. Opciones para la gestión integrada de desechos	2
II. Base de cálculo de una tonelada de desechos sólidos	39
III. Valores promedio de las demandas energéticas del sistema de termólisis	39
IV. Valores promedio de las ofertas energéticas del sistema de termólisis	40
V. Reacciones químicas llevadas a cabo en el termolizador	42
VI. Energía de formación de reacciones químicas producidas en el equipo de Termólisis	43
VII. Poder calorífico inferior (PCI) de algunos tipos de biomásas	44
VIII. Resultados de los análisis químicos efectuados en desechos urbanos	61
IX. Propiedades del carbón, según los análisis efectuados a las muestras en desechos urbanos	62
X. Composición media de residuos urbanos para una muestra de 1 ton.	66
XI. Balances de materia (en kilogramos) y de energía (en termias) (primera etapa)	67
XII. Balances de materia (en kilogramos) y de energía (en termias) (segunda etapa)	68
XIII. Balances de materia (en kilogramos) y de energía (en termias) (tercera etapa)	69
XIV. Balances de materia (en kilogramos) y de energía (en termias) (cuarta Etapa)	70
XV. Termólisis vrs. Incineración y Rellenos Sanitarios	95

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolos	Significado
%	Porcentaje
Kj	Kilo joule
Kcal	Kilocaloría
Ton	Tonelada
Tm	Tonelada métrica
°C	Grado centígrado
mb.	Milibar
Atm.	Atmósferas
Q.	Quetzales
Kw.	Kilowatts
T°	Temperatura
N°	Número
C	Carbón
H	Hidrógeno
O	Oxígeno
N	Nitrógeno
S	Azufre
Cl	Cloro
I	Yodo
Br	Bromo
F	Fluor
Ni	Níquel
Co	Cobalto
Mn	Manganeso
Cr	Cromo
Ti	Titanio

CaO	Óxido de calcio
PCI	Poder calorífico inferior
GJ/T	Giga-joules/tonelada
BTU	Unidad térmica británica
MDL	Marco del desarrollo sostenible
NFU	Neumáticos fuera de uso
RSM	Residuos Sólidos Municipales
MEM	Mercado de Energía Mayorista
CDRd	Combustibles derivados de residuos densificados

GLOSARIO

Aerodinámica	Cuerpo móvil cuya forma disminuya la resistencia del aire.
Calcinación	Reducir a cal viva los minerales calcáreos quitándoles por medio del fuego el ácido carbónico.
Densidad	Relacion entre la masa y el volumen de un cuerpo o sustancia.
Desechos sólidos hospitalarios	Es todo desecho, ya sea de origen biológico o no, que constituye un peligro potencial y por lo cual debe ser tratado como tal, ente ellos, material médico infeccioso, material radiactivo, ácidos y sustancias químicas corrosivas, etc.

Desechos sólidos industriales La cantidad de residuos 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, comprimas combustibles utilizados y los envases y embalajes del proceso.

Desechos sólidos urbanos Residuo que corresponde a las poblaciones, como desechos de parques y jardines, inmobiliario urbano inservible, etc.

Epígrafe Resumen que va delante de los capítulos de una obra ya sea literaria o científica.

In situ En el sitio o lugar.

Metales Férricos Metal que provienen del hierro o que poseen las propiedades de este.

Nivel Freático Superficie superior de una masa de agua subterránea.

Peletización	Proceso que consiste en la aglomeración de mineral fino molido al adicionarle aglomerantes y agua para darle forma de partículas esféricas las cuales son endurecidas en hornos rotatorios.
Peso específico	Relación entre la densidad de una sustancia con la densidad de una sustancia de referencia que regularmente es el agua a 4°C; en condiciones específicas.
Poder calorífico inferior	Cantidad de calor que puede entregar un cuerpo al quemarse. Se debe diferenciar entre poder calorífico inferior y superior. El Poder Calorífico Superior (PCS) no considera corrección por humedad y el inferior (PCI) en cambio sí.
Térmico	Que guarda relación al calor o temperatura.
Tromel	Tambor giratorio que esparce los desechos sólidos en su interior y permite la clasificación de estos según su tamaño.

Vitrificados

Hacer que algo adquiera las apariencias del vidrio.

Zaranda

Cedazo rectangular con fondo de red de tomiza.

RESUMEN

La Termólisis es una tecnología innovadora que permite el tratamiento simultáneo de desechos sólidos de diferentes orígenes; consiste en la descomposición de materia logrando una combustión espontánea, empleando oxígeno contenido en las moléculas y no tomado de la atmósfera, produciendo gases útiles, gases tóxicos, líquidos y sólidos que pueden ser comercializados.

El principio de la Termólisis es la reducción, por efecto combinado de la presión y la temperatura debidamente controladas, de moléculas orgánicas complejas a otras más simples, como carbono, hidrógeno, biogás e hidrocarburos ligeros y aromáticos.

La aplicación de la Termólisis no solamente se limita a los desechos sólidos; en países Europeos como Francia, España utilizan dicha tecnología para la recuperación integral de los neumáticos fuera de uso, consiguiendo el reciclado del acero y el aprovechamiento energético dentro del cumplimiento de las normativas medioambientales; empleando instalaciones sofisticadas y automatizadas. En América, Colombia es pionero en utilizar la Termólisis para el tratamiento de desechos sólidos con instalaciones medianamente automatizadas.

La Termólisis controlada del tipo vertical es una propuesta adaptada a Guatemala por la escasez de recursos para inversiones en este tema; estas instalaciones son sencillas, medianamente mecanizadas, de tamaño accesible que permite su construcción en el mismo lugar en donde se generan los desechos evitando el que estos sean transportados representando un ahorro de combustible.

Los productos sólidos obtenidos al final del proceso son sanitariamente inertes y pueden ser comercializados sin ningún riesgo para la salud.

Al comparar la Termólisis con dos de los actuales métodos utilizados para el tratamiento de desechos sólidos en Guatemala, como lo son la incineración y los rellenos sanitarios, no solamente presenta ventajas a nivel económico si no que además no existe contaminación ambiental por emanación de gases tóxicos, ni por contaminación de mantos freáticos por lixiviación.

OBJETIVOS

GENERAL

Proporcionar los fundamentos teóricos para el estudio de la Termólisis; los beneficios que de ella se derivan y la relevancia a nivel mundial en el contexto económico y medioambiental como tecnología de aprovechamiento energético, y motivar al estudiante para que amplíe su conocimiento y los aplique de forma tal, que eventualmente pueda apoyar al desarrollo del país.

ESPECÌFICOS

1. Proporcionar las generalidades del manejo integral de los desechos sólidos.
2. Plantear la Termólisis como método de procesamiento térmico aplicado al tratamiento de desechos sólidos.
3. Presentar las Instalaciones de Termólisis.
4. Comparar la Termólisis con dos métodos actuales de tratamiento de desechos Sólidos: la Incineración y los Rellenos Sanitarios.

INTRODUCCIÓN

Los desechos sólidos son una problemática actual de grandes dimensiones, para dar una solución alternativa a este problema se presenta en este documento una tecnología innovadora, que supera a las demás tecnologías más típicas en el tratamiento de desechos sólidos en varios factores: el económico, ya que transforma desechos en productos con alto valor energético que pueden ser comercializados y el ecológico, ya que a diferencia de los otros tratamientos éste elimina totalmente las emisiones de contaminantes a la atmósfera actuando como filtro de gases; y como filtro secuestrante cuando la capa inferior protege el nivel freático de líquidos tóxicos.

La Termólisis consiste en la descomposición de la materia orgánica en compuestos más simples obteniendo carbón y una mezcla de gases como producto final, que poseen poderes caloríficos específicos, equivalentes a combustibles. La materia orgánica queda inalterada y resulta sencillo separarla en cualquier de sus formas, metal, vidrio, arena y lodos, los cuales son vitrificados a altas temperaturas y salen bajo la forma de rocas no contaminantes.

Actualmente, la Termólisis es una de las soluciones más propuestas a nivel mundial en el tratamiento de desechos sólidos, ya que la idea de convertir la materia en energía para ser utilizada en motores, turbinas, para producir vapor, agua caliente o energía eléctrica. Lo que le permitirá posicionarse en un futuro no muy lejano, como una tecnología predominante en el tratamiento de desechos sólidos.

1. MANEJO INTEGRAL DE SÓLIDOS

1.1. Definición de manejo Integral

El manejo integral y sustentable de los sólidos combina flujos de métodos de recolección y procesamiento, de lo cual derivan beneficios ambientales, optimización económica y aceptación social en un sistema de manejo práctico para cualquier renglón. Esto se puede lograr combinando opciones de manejo que incluyen esfuerzos de reuso y reciclaje , tratamientos que involucran compostaje, biogasificación, incineración con recuperación de energía, así como la disposición final de rellenos sanitarios. El punto clave no es cuantas opciones de tratamiento se utilicen, o si se apliquen todas al mismo tiempo, sino que sean parte de una estrategia que responda a las necesidades y contextos locales o regionales, así como los principios básicos de las políticas ambientales en la materia.

1.2. La Jerarquía de los sólidos

Esta jerarquía de actuaciones esta basada en las directrices del 5º Programa de las Naciones Unidas, que es de lógica aplastante se ha considerado necesaria para resolver el problema de los

- Reducción de la cantidad generada.
- Reutilizar aquellos que puedan seguir teniendo un uso posterior a su utilización.

- Reciclar los materiales que permitan ser utilizados en nuevos procesos de fabricación de productos.
- Valoración energética de aquellos materiales cuya situación no permita las anteriores acciones, bien en forma de energía térmica o en forma de energía eléctrica, y hacerlo de forma segura para el medio ambiente.
- Enviar a un vertedero controlado el “residuo de residuo”, es decir, aquello que no tenga ninguna posible utilidad.

La tabla siguiente señala las opciones para los componentes generales de los sólidos.

Tabla I. Opciones para la gestión integrada de desechos

Componente	Minimización de residuos	Reciclaje	Reuso	Incineración	Compost	Biogás	Relleno Sanitario
Alimentos y orgánicos	A	E	D	D	C	B	D
Papel y Cartón	A	B	C	D	E	D	D
Plásticos	A	D	B	C	E	E	D
Vidrios	A	B	C	E	E	E	D
Metales F	A	E	B	E	E	E	C
Metales NF	A	B	C	E	E	E	D
Textiles	A	B	C	D	E	E	D
Otros	A	E	E	E	E	E	D

FUENTE: www.sabanet.unisabana.edu.co/.../ambiental/material/cicloll/4toxico/LIBRO%203ok.pdf

El significado de la nomenclatura empleada en la tabla anterior es la siguiente:

A= Opción mas deseable

B= Siguiete opción

C=Menos deseable

D= Posible pero no deseable

E= Poco o no viable.

1.3. Elementos del manejo integral de sólidos

En el contexto del desarrollo sostenible, el objetivo fundamental de cualquier estrategia de manejo de sólidos debe ser la maximización del aprovechamiento de los recursos y prevención o reducción de los impactos adversos al ambiente que pudiera derivar de dicho manejo.

Es claro que es difícil minimizar costo e impactos ambientales simultáneamente. Por lo tanto siempre había que hacer juicios de valor para reducir los impactos globales del sistema de manejo de , tanto como sea posible, aun costo aceptable; encontrar este punto de balance siempre generará debates.

Por tal razón, se podrán tomar mejores dediciones en la medida en que se cuente con los datos para estimar los costos y determinar los impactos ambientales, lo cual puede generar nuevas ideas en el marco de los procesos de mejora continua.

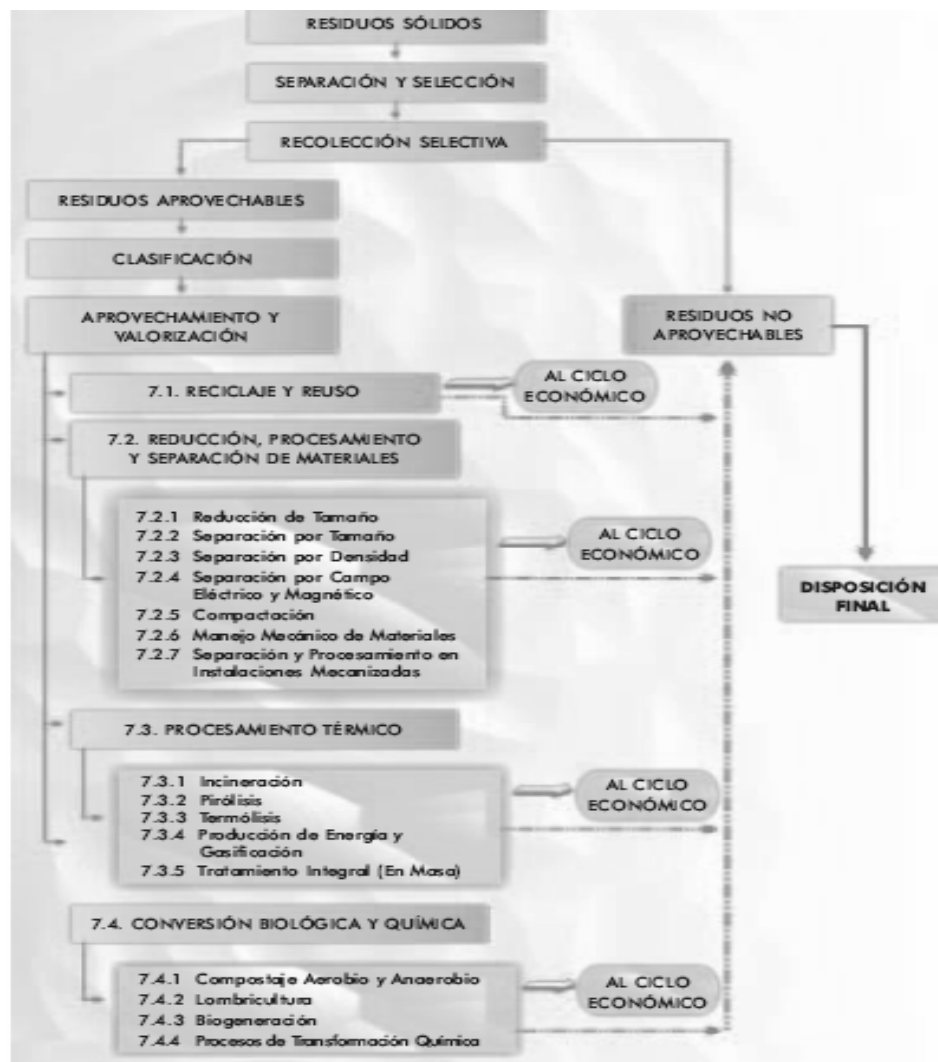
1.4. Clasificación de las opciones de gestión integrada de aprovechables.

En la siguiente figura se presenta un esquema general de gestión diferenciada de aprovechables y basuras, la cual sirve de base para la clasificación de las opciones de gestión integrada de aprovechables en cuatro grandes grupos, a saber:

- Reciclaje y reuso
- Reducción, procesamiento y separación de materiales
- Conversión biológica y térmica
- Procesamiento térmico

La disposición final se convierte, por lo tanto, en la opción tecnológica para el manejo de los no aprovechables.

Figura 1. Gestión diferenciada de aprovechables y basuras



FUENTE: www.sabanet.unisabana.edu.co/.../ambiental/material/cicloll/4toxico/LIBRO%20%203ok.pdf

1.4.1. Reciclaje y reuso de materiales

Es el proceso o procesos mediante los cuales se extraen materiales del flujo de desechos y se reutilizan o se aprovechan y transforman los sólidos recuperados y se devuelven a los materiales sus potencialidades de reincorporación como materia prima para la fabricación de nuevos productos.

El reciclaje generalmente incluye; la separación y recuperación de materiales; el procesamiento intermedio, a través de la selección y compactación; La recolección y transporte, y el procesamiento, final para proporcionar materia prima para los fabricantes o bien un producto final.

1.4.2. Reducción en origen, procesamiento y separación

El objetivo de este proceso es obtener un producto final uniforme y reducido en tamaño, aunque esto no implica necesariamente una disminución en volumen. Es un método mecánico, que busca cambiarle las propiedades físicas a los sólidos a través de la disminución y homogenización de su tamaño, para facilitar el procesamiento, tratamiento o disposición final posterior.

Los Sólidos Municipales se pueden procesar localmente en instalaciones residenciales, comerciales e industriales, o en instalaciones centralizadas donde se poseen plantas de tratamiento, plantas de procesado y procesos como son el compostaje o reciclado.

1.4.2.1. Separación o clasificación por tamaño

Los sistemas de separación y clasificación de los desechos funcionan por lo general en una estación especializada, denominada estación de clasificación de materiales, o instalaciones centralizadas de sólidos mixtos, para el reuso o el reciclaje.

Estas pueden ser desde estaciones completamente automatizadas (que a través de sistemas electromecánicos complejos separan las basuras en diferentes fracciones utilizables), hasta sistemas de complejidad menor en donde la separación la realizan los operarios de forma manual a lo largo de una banda transportadoras. Una separación o clasificación puede hacerse por tamaños, densidades, inercia, conductividad, y otras características de los sólidos molidos o gruesos.

Una clasificación por tamaños, es la actividad subsiguiente, a la fragmentación o trituración y se hace siempre que se considere conveniente, por razones de manipulación, de transporte o de tratamiento posterior. La función de un separador por tamaño, es la de controlar el tamaño o granulometría del material, que alimenta a otro equipo o proceso situado a continuación.

Existen dos tipos básicos de separadores por tamaños: las cribas, que se emplean en separaciones más gruesas, y los clasificadores, cuando se pretende una separación más ajustada.

1.4.2.2. Separación por densidad

La separación por densidad es una técnica ampliamente utilizada para separar materiales basándose, en su densidad y en sus características aerodinámicas.

Cada tipo de equipamiento tiene sus propios procesos, por ejemplo, un sistema completo de clasificación neumática, está formado por una o más transportadoras, un clasificador y un ciclón separador, las primeras para llevar residuos procesados a la tolva de alimentación y al clasificador neumático.

Después del clasificador neumático, se utiliza un separador para separar la fracción ligera del aire portador. Antes de descargar el aire portador a la atmósfera se pasa a través de instalaciones para la recogida del polvo, normalmente un filtro de mangas. Alternativamente, se puede reciclar el aire del ciclón separador directamente al clasificador neumático, con o sin separación del polvo.

El aire para la operación del clasificador neumático, puede ser suministrado por compresores o ventiladores de baja presión. La fracción pesada que se separa con el clasificador neumático se transporta al lugar de evacuación, o bien a un sistema para la recuperación de recursos.

De otro lado, los separadores inertes se usan en las instalaciones de residuos, para separar la gravilla pesada del material orgánico en las fracciones de menor tamaño en los tromeles; estos equipos funcionan como separadores por densidad solamente, por cuanto el criterio real de separación es la velocidad límite, no la densidad o el peso. Por su parte, la flotación es la

operación que emplea un fluido para separar dos componentes con densidades diferentes y la separación de medios densos. Se utiliza por ejemplo, para separar materiales muy densos como el aluminio.

Se utilizan varias tecnologías, donde se incluyen:

- Clasificadores neumáticos,
- separadores inertes (stoners),
- flotación y separación de medios densos,
- la clasificación neumática es la más ampliamente utilizada.

1.4.2.3. Separación por cambio eléctrico y magnético

Esta técnica utiliza las propiedades eléctricas y magnéticas de los materiales residuales, como son la carga y la permeabilidad. Es la tecnología más utilizada para separar metales féreos de metales no féreos, también puede utilizarse para separar plásticos de papeles y vidrio de material triturado.

El proceso de separación magnética, funciona bajo el principio de susceptibilidad magnética, es decir, la propiedad que determina el comportamiento de un material en un campo magnético.

De acuerdo con la misma, los materiales se dividen en dos grupos: Los Paramagnéticos, que son atraídos a lo largo de las líneas de flujo magnético hacia los puntos de mayor intensidad del campo y los Diamagnéticos, que por el contrario, son repelidos hacia los puntos de menos intensidad.

Existen elementos, tales como el Ni, Co, Mn, Cr, Ce, Ti, y los platínidos que son paramagnéticos por si mismos, pero, en muchos casos, las

propiedades magnéticas de un mineral o material se deben especialmente al hecho de que contienen algún compuesto de hierro en forma magnética. Tales compuestos, reciben el nombre de Ferromagnéticos, destacando entre los mismos el hierro propiamente dicho y la magnetita.

El equipo requerido, según su intensidad pueden ser de dos tipos: Los de baja intensidad, los cuales se emplean para materiales ferromagnéticos o paramagnéticos de alta susceptibilidad magnética, sin que ello suponga una regla general, se emplean mas frecuentemente en húmedo que en seco.

La forma constructiva más frecuente es la de tambor magnético, que puede trabajar girando en el mismo sentido o en sentido opuesto al flujo del material. En la separación de baja intensidad, pueden emplearse tanto imanes permanentes como electroimanes, resultando los primeros especialmente indicados cuando la intensidad necesaria es muy baja. Los de alta intensidad, en general se utilizan en seco, y no son de mucha capacidad. Su utilización en la recuperación de metales es por ahora, menos frecuente que los de baja intensidad.

Además, se tienen los separadores electrostáticos, que pueden utilizarse para separar plásticos de papeles, con base en las distintas características de carga superficial de los dos materiales muy utilizados. También se utilizan en la separación de materiales especialmente de tipo aluvial, pero su aplicación en la separación de metales, está más extendida.

Por último, también se aplica en la separación por corriente foucault, en la que se utilizan campos magnéticos variables para inducir corrientes foucault, en metales no férreos, como puede ser el Aluminio formando un imán de aluminio.

1.4.2.4. Compactación

La compactación o densificación, es una operación o un proceso unitario que busca incrementar la densidad de los sólidos, para almacenarlos y transportarlos, con el fin de reducir costos, simplificar el almacenamiento, para reciclables, y preparar Combustibles Derivados de Residuos densificados (CDRd).

Mediante la compactación, se disminuye los espacios vacíos condensando los residuos, por esto también constituye un proceso auxiliar en un relleno sanitario. Unos materiales se dejan compactar más que otros, por ejemplo, el papel se deja compactar más fácilmente que el cartón, por tanto, se obtiene una paca de residuos de mayor masa.

El peso específico bruto final de los residuos compactados, depende del peso específico inicial y de la humedad, por esto algunos procesos requieren adicionar agua para facilitar la operación. Los tipos de compactación pueden clasificarse en estacionarios y móviles, los estacionarios se dan cuando los residuos, son cargados en una compactadora manual, aquí está por ejemplo, el mecanismo utilizado en un vehículo recolector; de otro lado, el mecanismo de compactación con ruedas y orugas utilizado en un relleno sanitario controlado, es del tipo móvil, el cual consiste en equipo altamente especializado para conseguir alta compactación in situ. Así mismo, el mecanismo de empaque, es una alternativa que opera a altas presiones. En general entre más se logre la densificación de los residuos, será mejor desde el punto de vista ambiental y económico.

Hoy por hoy, existen en el mercado prensas embaladoras, de diferentes tipos verticales y horizontales para el prensado de desperdicios de papel, cartón, plástico, corcho, entre otros materiales, que ocupan un reducido espacio

y se utilizan como recipiente para mantener limpio el lugar de trabajo, siendo además de muy fácil manejo y no precisan mantenimiento.

Existen en el mercado diversas tecnologías disponibles, entre las que se cuentan diferentes tipos de prensas y embaladoras, compactadoras estacionarias, máquinas de empaque, máquinas de peletización, etcétera.

En el reciclaje de materiales, se requiere, por lo general de una máquina compactadora, cuyas exigencias técnicas dependen de los volúmenes trabajados en cada empresa de reciclaje, así: compactación manual, la cual, es realizada por pequeñas empresas o grupos de reciclaje que recuperan menos de 2 toneladas/día y obtienen pacas de 80 a 120 kilogramos de masa, y la compactadora hidráulica vertical, la cual permite obtener pacas desde 280 hasta 450 kilogramos de masa.

Esta máquina es la de mayor uso en el medio por parte de las empresas y grupos de reciclaje que recuperan entre 3 y 10 toneladas/día de cartones y papeles.

La compactadora hidráulica horizontal, permite obtener pacas desde 380 hasta 500 kilogramos de masa y es utilizada por las empresas que recuperan cantidades superiores a 20 toneladas/día, pues posibilita mayores niveles de productividad. En algunas medianas y grandes industrias que poseen programas de separación en la fuente, también es común encontrar pequeños equipos compactadores con el fin de reducir el espacio de almacenamiento de los materiales, mientras estos son entregados a una empresa recuperadora.

1.4.2.5. Manejo Mecánico de Materiales

Es el proceso utilizado para el transporte y el almacenamiento en centros de acopio y procesamiento de RSM y materiales recuperados. Las instalaciones para la manipulación de materiales, deben diseñarse correctamente para evitar una reducción en la eficacia de todo el sistema de procesamiento.

Una transportadora es una cinta sin fin apoyada sobre rodillos libres antifricción y conducida desde un extremo por un rodillo motriz, las cintas se fabrican de goma, lona o materiales sintéticos para manipular materiales reciclados que son relativamente ligeros; para el manejo de los RSM no seleccionados y los metales pesados se usan cintas de acero con bisagras; las cintas transportadoras generalmente se diseñan con base en la velocidad de la cinta, el rendimiento por peso (Kg./h o T/h), la potencia en caballos y el espesor del material sobre la cinta.

Los sistemas de transporte neumático están constituidos por un ventilador, un dispositivo de alimentación, una tubería y un aparato de descarga, normalmente un ciclón. Pueden operarse los sistemas al vacío, por debajo de la presión atmosférica o como sistemas de presión, trabajando hasta con 35 cm. de presión de agua.

Dentro del equipo requerido, las cintas transportadoras son las más utilizadas para la manipulación de los residuos, se utilizan para trasladar RSM no seleccionados así como materiales recuperados y para trasladar materiales en las líneas de selección, donde se pueden seleccionar manualmente los materiales reciclados.

De otro lado, también se tienen las transportadoras, para llevar a cabo la separación manual y las transportadoras neumáticas que pueden usarse para transportar materiales triturados como papel, periódico, plástico, combustible derivado de residuos.

En el diseño de instalaciones para la manipulación de materiales, generalmente es más rentable utilizar equipo móvil, tales como palas frontales y elevadoras (para mover los materiales empacados desde las máquinas, hasta las zonas de almacenamiento y después cargarlos en camiones para su transporte al mercado). En la actualidad existen equipos muy versátiles en el mercado.

1.4.2.6. Separación y Procesamiento en instalaciones centralizadas

Las etapas de separación, preparación, limpieza y procesamiento de los Residuos Sólidos Municipales (RSM), se puede hacer en instalaciones de separación centralizada para su posterior recuperación, transformación y/o reutilización si fuese el caso.

Esta tecnología tiene especial aplicación en áreas metropolitanas, en grandes y medianas ciudades, ya que es allí donde se dificulta, en mayor proporción la separación en la fuente.

En cualquier estación central, es inevitable la separación manual, al menos de objetos muy grandes difíciles de desmenuzar, así como el material potencialmente explosivo. Después de esto, la clasificación manual necesaria depende de la capacidad de las unidades de separación subsiguientes. Estas

plantas, tienden a ser específicas para la localidad y desempeñan, entre otras, las siguientes funciones:

- Recuperar materiales de los RSM separados en la fuente o mezclado.
- Eliminar la contaminación de los desechos, a fin de prepararlos para la combustión o transformación en abono.
- Recuperar selectivamente materiales reciclables inorgánicos y procesar los orgánicos para obtener abono o recuperadores de suelo.

En estas instalaciones se debe contar con diversos procesos unitarios, patentados para la clasificación a granel. Los procesos desarrollados se presentan en función de los métodos utilizados para transformar los residuos, según su tipo, el equipo y la tecnología disponible. Estos métodos pueden ser:

Métodos de separación: Los métodos para la separación de residuos mixtos, secos y pulverizados se basan en la diversidad, tamaño, inercia, conductividad u otras características de los residuos molidos, entre ellos están las siguientes:

- Clasificación con aire: Para componentes de poco peso, como papel y cartón
- Separación magnética para metales ferrosos
- Tamizado para separar materiales no ferrosos
- Diferenciación óptica de color para separar vidrio incoloro del colorido
- Clasificadores inerciales para separar partículas orgánicas de las inorgánicas, o las partículas pesadas y elásticas de las ligeras e inelásticas (es decir para separar contaminantes del abono).

Métodos de procesamiento

- Mecánicos: trituración, compactación, clasificación.
- Biológicos: Aerobios, Anaerobios.
- Térmicos: Incineración, Pirolisis, Termólisis.

1.4.3. Procesamiento Térmico

1.4.3.1. Incineración

La incineración es el proceso de reducción de los sólidos (del orden de 90% en volumen y 75% en peso) a material inerte (escoria y cenizas) y a productos oxidados mediante la combustión, provoca la descomposición de las sustancias por vía térmica, mediante la oxidación a temperaturas elevadas (760°C o más) destruyendo la fracción orgánica de los y reduciendo su volumen considerablemente.

1.4.3.2. Pirolisis y desgasificación

Pirolisis es el procesamiento térmico de en ausencia total de oxígeno, este procedimiento utiliza una fuente de combustible externa para conducir las reacciones en un ambiente libre de oxígeno.

El proceso de pirolisis produce tres fracciones de componentes: Una corriente de gas que contiene hidrógeno, metano, monóxido de carbono y diversos gases; una fracción líquida que consiste en un flujo de alquitrán o aceite y coque inferior, que consiste en carbono casi puro.

1.4.3.3. Termólisis

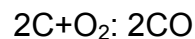
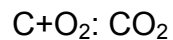
La Termólisis o Fusión es un sistema basado en el concepto de valoración energética de los sólidos pero con una tecnología mucho mas moderna y segura; incluyen instalaciones que transforman en 99% todos los que producimos (urbanos, industriales) en gas de síntesis que puede ser utilizado para alimentar la instalación propiamente dicha, producir energía a ser vendida para otras necesidades; además de gas se produce materia inerte (granulados que pueden utilizarse en la construcción o en la industria metalúrgica).

1.4.3.4. Producción de Energía y Gasificación

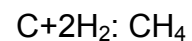
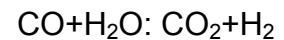
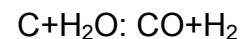
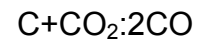
La gasificación es la termoconversión de un sólido en un gas combustible. Este gas se obtiene en el interior de un reactor especialmente diseñado, donde se provocan diversas reacciones químicas en cadena.

Las principales reacciones químicas son:

EXOTÉRMICAS



ENDOTÉRMICAS



Como resultado se obtiene un gas combustible de bajo poder calorífico entre 5.000 y 5.800 KJ/kg (1.200-1.400 Kcal/kg) con los siguientes componentes: CO 20 -26%; H₂ 5-10%; CH₄ 1-4%; CO₂ 4 -8%; N₂ 50 -60%; C_nH_m 0,1-0.5%.

1.4.3.5. Tratamiento Integral (en masa)

Es el tratamiento racional e integral de los RSM desarrollado en los últimos años y aplicable a los RSM mixtos en masa (todo-uno), incluye los procesos de separación, afino, formación de compost o abono orgánico y generación de energía.

1.4.4. Conversión Biológica y Química

1.4.4.1. Compostaje Aerobio

El compostaje aerobio es un proceso de estabilización de la materia orgánica presente en los desechos sólidos, a través de la actividad de microorganismos que se alimentan de ella. Esta tecnología se presenta como una opción para disponer la basura orgánica de una manera sencilla y útil. El producto es un material húmico estable conocido como compost, que puede ser utilizado como mejorador de suelos, ya que le aporta nutrientes y le ayuda a conservar la humedad.

El producto final (humus) es de color marrón oscuro, inoloro o con olor al humus natural. Es estable por cuanto el proceso de fermentación queda esencialmente finalizado.

1.4.4.2. Lombricultura

La lombricultura o cultivo de lombrices es la técnica de criar en cautiverio lombrices de tierra logrando obtener una rápida y masiva reproducción y un crecimiento en espacios reducidos y la utilización de orgánicos domésticos para su alimentación produciendo como resultado la transformación de éstos en humus y en proteínas para la alimentación de aves, peces y cerdos.

1.4.4.3. Biogeneración

Es una alternativa para el tratamiento de los sólidos orgánicos, en la que se combinan procesos aeróbicos (que funcionan con oxígeno) y anaeróbicos (sin presencia de oxígeno), en la que se obtienen productos como abono agrícola (compost) y gas biológico (60% metano, 40% CO), que puede ser utilizado como combustible.

Los alimentos y otros orgánicos (madera, hojas, vegetales) pueden ser transformados a través de procesos bioquímicos, dando como resultado estos productos que son de alto valor energético y económico.

1.4.4.4. Proceso de transformación química

La transformación química incluye algunos procesos de hidrólisis, que se utilizan para recuperar compuestos tales como la glucosa, y otros procesos de conversión química para recuperar compuestos como aceite sintético, gas y acetato de celulosa, también se puede producir metanol.

Estos procesos pueden ser: bioquímicos como la biogeneración y el compostaje y tratamientos fisicoquímicos para la eliminación o reducción de la toxicidad de los que no son valorizables (tratamientos fisicoquímicos y también la incineración).

1.4.5. Disposición Final: Rellenos Sanitarios

Es el método más conocido para disponer los sólidos no aprovechables.

Podemos definir Relleno Sanitario como el sitio donde se depositan los no aprovechables que produce una ciudad, población o zona habitada, de tal manera que, mejorando el paisaje, se produzca el mínimo daño al ambiente y a la salud de la población sometida al riesgo de sus efluentes.

Es el sitio donde diariamente la basura se recibe, se riega, se compacta y se tapa, minimizando y tratando los gases y lixiviados que se produzcan.

El relleno sanitario puede tener la posibilidad de recuperar tanto las áreas alteradas por la naturaleza, como las erosionadas o las alteradas por el hombre.

2. LA TERMÓLISIS COMO MÉTODO DE PROCESAMIENTO TÉRMICO APLICADA A SÓLIDOS.

2.1 Antecedentes de la Termólisis

La aplicación de la Termólisis a los urbanos de composición variable y compleja, es muy reciente, alrededor de hace 15 años.

Pero desde hace más de un siglo se conoce el principio de la Termólisis, en el cual las largas y complejas cadenas de moléculas orgánicas, reciben y acumulan energía térmica en forma de calor, produciendo vibraciones que se traducen en aumento de temperatura; al igualar la energía de vibración con la energía de unión de las cadenas débiles se produce una rotura de estas cadenas y se liberan en moléculas mas simples.

En este fenómeno se basan los procesos de refinado del petróleo bruto, que esta compuesto de moléculas orgánicas, llamado termólisis (craquización térmica).

En la geología y la química del petróleo, la termólisis es el proceso, por el que las moléculas orgánicas complejas, tales como hidrocarburos pesados, son descompuestas en moléculas más simples (hidrocarburos ligeros), por romperse los enlaces del carbón-carbón en los precursores. El índice de termólisis y los productos finales son fuertemente dependientes de la temperatura y la presencia de cualquier catalizador.

En 1855, los métodos de craqueo del petróleo fueron iniciados por profesor americano de la química, Benjamín Silliman, Jr. (1816-1885), de la Escuela Científica de Sheffield (SSS) en la universidad de Yale.

El primer método de termólisis, denominada proceso de agrietamiento de Shukhov, fue inventado por el ingeniero ruso Vladimir Shukhov (1853-1939), en el imperio ruso, patente no 12926, el 27 de noviembre, 1891.

Eugene Houdry (1892-1962), ingeniero industrial francés, efectuó el craqueo catalítico iniciado y convertido en el primer proceso comercialmente acertado, después de emigrar a los Estados Unidos. La primera planta comercial, fue construida en 1936. Su proceso dobló la cantidad de gasolina, que se podría producir un barril de petróleo crudo.

La primera instalación de Termólisis (una línea de 100 t/día), funcionó en Fondotoce (Ub - Italia), ésta fue una instalación piloto, que sirvió para probar, en escala industrial esta tecnología de punta. Además, ha sido ya probada, en escala industrial de 600 kg/día por más de 5 años de funcionamiento en el emplazamiento de Verbania / Fondati (Italia).

2.2 Reseña de la Termólisis en Colombia

Según el representante Legal Guillermo León Ramírez Dussan, en el seminario Energías Alternativas en Colombia de la Universidad Nacional de Bogota del 28 de mayo del 2004. La Termólisis de Colombia nace de la confianza de empresarios españoles y franceses, en su representante y gestor para América Latina y el Caribe y en su grupo de profesionales que han

organizado las ideas y están desarrollando el negocio de generar energía verde, a través del proceso de Termólisis.

Sin embargo, la realidad es que detrás de esta tecnología, se encuentran más de diecisiete (17) años de trabajo, en investigación, análisis y experimentación, realizado por un importante equipo de Ingenieros y Técnicos europeos, cuyo esfuerzo se ha visto premiado por el reconocimiento de la Unión Europea, (patente) de prestigiosas Universidades y por varios Gobiernos Autónomos de España.

2.2.1 Visión de Termólisis y Reciclaje de Colombia ESP SCA

Ser a partir del 2005, una EMPRESA GENERADORA DE ENERGÍA ELÉCTRICA, mediante BIOMASA (Termólisis esta certificado como Generador con BIOMASA, por la UPME) usando como insumo los desechos urbanos, industriales y agrícolas, transformados con el sistema patentado de Termólisis, todo esto, dentro del marco del Desarrollo Sostenible, como proyecto MDL.

2.2.2 Documentos Termólisis en Colombia

El 1º de junio de año 2001 se crea la Empresa, “Termólisis y Reciclaje de Colombia ESP SCA”, mediante escritura pública N° 1850 en la notaria 42 del Círculo de Bogota DC.

El 7 de junio del año 2001 es Inscrita la “Termólisis y Reciclaje de Colombia ESP SCA” Grupo Thermolysis®, “Termólisis y Reciclaje de Colombia ESP SCA”, pertenece al Grupo Thermolysis® bajo el N° 00780659 Libro IX con

Matricula Mercantil N° 01094126; Nit. 830087725-6; NUIR 1-11001000-80
Superintendencia de Servicios Públicos.

2.2.3 Leyes y Decretos en Colombia

- Agenda 21 – Primera Cumbre de la Tierra – Río de Janeiro – 1992
- Ley 99 de 1993 – SINA
- Ley 142 de 1994 – Servicios Públicos Domiciliarios
- Ley 143 de 1994 – Ley Energética
- Resolución 1096 de 2000 – RAS 2000
- Ley 697 de 2001 (Ley URE)
- Decreto 1713 de 2002. Reglamentario de la Ley 142/94
- Decreto 1505 del 2003 modifica el 1713/02
- Decreto 2755 de 2003. Ministerio de Hacienda
- Guía de Selección de Tecnologías de Manejo Integral de Residuos Sólidos(MMA) 2002
- Decreto 3683 de 2003 Reglamentario de la Ley URE

2.3 La Termólisis en Europa

En el mercado Europeo, la Termólisis se dirige, especialmente, al tratamiento de los sólidos urbanos, mediante unidades de baja capacidad, entre 10.000 t/año y 30.000 t/año, dependiendo de la proximidad de los núcleos urbanos ó industriales, a la potencial ubicación de la planta. Son escasas las realizaciones próximas a las 50.000 t/año, en cuyo rango, aún persiste la competencia, con las plantas incineradoras.

Los costos de inversión y de tratamiento, por termólisis no integrada de este tipo de unidades, son muy inferiores a los que se podrían demandar de la incineración, para esta gama de capacidad. En este aspecto y debido a la potencial proximidad de los núcleos generadores, se planifican sistemas integrados de gestión, para determinados tipos de desechos, tales como los neumáticos NFU, los procedentes de los vehículos, tanto de talleres de reparación, como de fragmentado, plásticos, de tableros que en su construcción, emplearon melamina y otros desechos peligrosos, como los hospitalarios y los procedentes de mataderos, lo que permite realizar economías, a nivel de transporte del residuo en bruto.

Se tiende a implantar las unidades de termólisis, en las proximidades de un operador de energía, que no siempre es la misma planta, ya que aún no se ha producido, en Europa, la liberalización del mercado eléctrico, al nivel que en España.

El residuo carbonoso, bajo el epígrafe de carbón de coque, se tiende a vender, como combustible sustitutivo en las cementeras.

La penetración de este combustible sólido, en otros sectores del mercado, distinto al de las cementeras, es más difícil, ya que, por definición, el coque producido contiene una cierta cantidad de cenizas, que pueden contener metales pesados. Por tanto, su utilización, como combustible de sustitución, debe hacerse en una instalación industrial provista de unidades de tratamiento de humos, que es el caso de las centrales térmicas y de los hornos de cementeras.

Estas instalaciones, grandes consumidoras de energía, ya están utilizando este producto, según recientes informes, en Francia y Bélgica, donde ha sido generalmente bien aceptado. Hasta hoy día, los potenciales compradores de

este producto, no adquieren este combustible, hasta no garantizarse su producción a la escala de sus instalaciones, aunque las plantas de termólisis, que como promedio, producen 0.5 t/h, conforman ya lotes de varias decenas de toneladas de este combustible de sustitución.

En el mercado europeo actual, la termólisis, entendida como un tratamiento parcial de los desechos, presenta una solución complementaria a la incineración, debido a los suministros fijos y garantizados de particularmente bien adaptados al tratamiento en plantas de baja capacidad.

2.4 Definición de Termólisis

Es un proceso por el cual se descompone la materia orgánica compleja, en compuestos más simples, obteniéndose, como producto final, carbón y una mezcla de gases cuyo componente principal es el metano, con poderes calóricos, equivalentes a combustibles fósiles comerciales. La materia inorgánica queda inalterada, y resulta muy sencillo separarla al final del proceso en cualquiera de sus formas: metales, vidrio, arenas y lodos, los cuales son vitrificados a alta temperatura y salen bajo la forma de rocas no contaminantes.

2.5 Principio de la Termólisis

Todas las moléculas orgánicas que provienen de la naturaleza (biomasa), o de una reacción química (química del carbono), pueden ser progresivamente descompuestas y reducidas en moléculas más simples o en átomos, por el efecto combinado de la temperatura y de la presión.

El control de temperatura y de presión es suficiente para impedir la formación de otras reacciones químicas. No es necesario añadir otro tipo de átomos a la reacción, sino que se elija una temperatura adecuada y una presión pequeña, además de darle a la materia el tiempo necesario y suficiente para su disgregación.

La reacción de Termólisis se explica fácilmente: las largas y complejas moléculas orgánicas, organizadas en cadenas, almacenan la energía térmica recibida en forma de calor y se ponen a vibrar (las vibraciones se traducen en un aumento de su temperatura); cuando la energía de vibración, iguala a la energía de unión de las cadenas más débiles en su estructura molecular, estas cadenas se rompen y se liberan en moléculas más simples.

Todos los materiales de cadenas orgánicas son termolizables. En la práctica, la Termólisis es la reducción, por efecto combinado de la presión y la temperatura debidamente controladas, de moléculas orgánicas complejas a otras más simples, como carbono, hidrógeno, biogás e hidrocarburos ligeros y aromáticos. Las moléculas no orgánicas, los minerales, los metales, la tierra, etc., atraviesan el procedimiento sin ser alterados o modificados, excepto los óxidos metálicos, que son reducidos por el carbono libre que se produce.

La Termólisis de las materias orgánicas consiste en desplazar el equilibrio de constitución de las moléculas orgánicas complejas, que bajo el efecto del calor se disocian en moléculas más simples.

La reacción de termorreducción, se debe realizar en un medio químicamente inactivo o en atmósfera reductora: cualquier introducción de

oxígeno provoca la combustión de una parte, al menos, de los constituyentes principales de las moléculas orgánicas que son el Carbono y el Hidrógeno.

2.6 Ventajas de la Termólisis

2.6.1 Ventajas generales

La termólisis se puede definir como un método para el tratamiento de desechos urbanos, industriales, agrícolas y hospitalarios, cuyo funcionamiento es semejante al de la fabricación de carbón vegetal que, antiguamente, se realizaba en las carboneras realizando en horas lo que la Naturaleza tardaría siglos; es decir, su eliminación mediante su total reciclado.

La Termólisis permite realizar, un tratamiento al vacío de todo tipo de desechos orgánicos y, en ausencia de oxígeno, no puede haber combustión, lo cual constituye una parte sustancial de esta tecnología, que los desechos no se queman nunca.

La Termólisis es una “craquización”; en el proceso no hay combustión, por lo tanto no es incineración, luego no le es aplicable ninguno de los inconvenientes que tiene la técnica de incineración.

2.6.2 Reutilización y Reciclaje

La termólisis produce en su fase final, energía, bajo la forma de materia prima, gas (biogás), y carbón; esta energía es almacenable, transportable y utilizable en otra parte, además del lugar de producción.

Estériles, principalmente tierra; estos estériles son utilizables en rellenos ya que no contienen contaminantes.

Metales ferrosos y no ferrosos, que son devueltos a las acerías y vidrio, con destino a las empresas que lo fabrican.

Una muy pequeña cantidad de desechos finales del proceso, el 1 % en el tratamiento de desechos sólidos urbanos, contaminados particularmente por metales pesados que, en lugar de llevarlos a vertedero, son vitrificados mediante Tecnología de Plasma y, por lo tanto, no presenta ninguna lixiviación, se pueden aplicar a diversos procesos de construcción, tales como: rellenos, concretos, vitrocerámicas y otros.

2.6.3 Objetivos medioambientales

Tratar los desechos lo más cerca posible de los lugares de su producción, en plantas estéticas y de pequeño tamaño (economías logísticas importantes, y de impacto visual nulo).

Asegurar una valoración energética verdadera, con limpieza previa de los productos reciclados, utilizable según las necesidades, y no inmediatamente en el lugar.

Reducir la parte final de los desechos, a una proporción porcentual tan pequeña, que la vitrificación de éstos, no supone ningún problema económico.

Tratar los desechos sin necesidad de vertedero posterior al proceso. El residuo final es cero.

Hacer desaparecer los clásicos e insalubres vertederos de desechos, y basuras y con ellos, toda la contaminación medioambiental que producen.

Generar economías de escala añadidas, derivadas del tratamiento para la eliminación de los desechos, y de los productos finales resultantes.

No provocar ningún tipo de humos, ya que en la termólisis, las basuras, y/o desechos, no se queman en momento alguno.

No generar en lo absoluto olores, puesto que no existen humos que se desprendan del proceso, y porque, además, la totalidad de la planta es hermética, de tal manera que podría estar ubicada en el centro de la ciudad sin notarse.

Generar líquidos limpios al final del proceso.

No causa ningún efecto nocivo o negativo sobre el medio ambiente, porque los efectos contaminantes que provoca la existencia de los desechos, y/o basuras en el ambiente natural, se reducen a cero.

2.6.4 Objetivos técnicos

El objetivo de esta tecnología es poner a la disposición del lector, un tratamiento universal para todo tipo de desechos de composición orgánica, y cuyo resultado final sea el residuo cero.

Desde el punto de vista científico, el desarrollo y optimización de este proceso tiene los siguientes objetivos parciales:

Asegurar una valoración energética de los desechos no valorizables por otro método. Sólo se tratarían mediante horno de tratamiento térmico, en atmósfera controlada, los desechos para los que no exista otra vía de reutilización.

Reducir los desechos finales (fracción contaminante) a una proporción tan pequeña, que la vitrificación de los mismos pueda ser realizada a un costo aceptable.

Tratar los desechos de forma que se llegue al vertido cero, eliminando por completo el vertedero y valorizando en lo posible todo tipo de desechos.

2.6.4.1 Objetivo tecnológico

Desarrollo de un proceso limpio. Debido al tipo de tratamiento que siguen los desechos, se logra una reducción total en la emisión de dioxinas, respecto a otras técnicas convencionales.

2.6.4.2 Objetivo industrial

Se pretende construir y explotar una planta de tratamiento, para así facilitar el desarrollo de una nueva industria basada en la recuperación de las materias primas de los desechos.

2.6.4.3 Objetivo económico

Aprovechamiento total de los desechos no valorizables por otro método, y el ahorro en transporte.

2.6.5 Ventajas técnicas medioambientales

- Craquización térmica de la fracción orgánica de los desechos, mediante división molecular en ausencia de aire.
- Termólisis al corazón de la materia.
- Proceso en continuo.
- Conjunto de tecnologías con residuo final cero.
- Flexibilidad de funcionamiento por debajo de su capacidad nominal.
- Ninguna formación ni dispersión de óxidos de nitrógeno, de dioxinas, de furanos, de PCBs, de ácidos clorhídrico y fluorhídrico, de anhídrido sulfuroso, de polvo, de escoria, de hollines.
- Ninguna dispersión de metales pesados; se concentran en una masa vitrificada.
- No hay necesidad de vertido final.
- Posibilidad de producción de energía a partir de los compuestos resultantes de la termólisis, carbón y gas.
- Secado en circuito cerrado con condensación de aire y depuración de agua.
- Secado por aire caliente con movimiento de la masa.
- No producción de hidrocarburos líquidos por recirculación en termólisis.

- Procedimiento que valoriza los desechos energéticamente, no directamente como en una incineración, sino por medio del gas y el carbón resultantes del proceso de termólisis, de los que se han extraído, por procesos químicos, los metales pesados.
- Baja temperatura de trabajo, con ajuste grado a grado de la temperatura de funcionamiento, y milibar a milibar de la presión de trabajo, en el interior de los termolizadores.
- Temperaturas de hasta 3,000 °C, aplicadas solamente para inertización por vitrificación de los metales pesados, extraídos de los desechos.
- Fácil extracción de cloro, azufre, etc., en el proceso de limpieza del gas de termólisis, por limpieza de los mismos. Es la fase en la que se concentran estos productos.

2.7 Otras aplicaciones de la Termólisis

La termólisis se aplica a todas las materias de origen o de constitución orgánica. Los vegetales, las moléculas de seres vivos, los productos procedentes de la química del petróleo y de la del carbono, se pueden reducir mediante este procedimiento.

La termólisis se aplica también a la transformación de ciertas materias primas, para su utilización como productos comerciales: tal es el caso de la madera, que se puede transformar en carbón vegetal y en carbón activo; igual es el caso de la turba o de los lignitos, que es posible transformarlos en gas y en carbón.

La termólisis se puede también aplicar a la transformación de ciertos productos naturales, para poderlos utilizar una vez separados de sus

estructuras orgánicas: por ejemplo, la transformación de los desechos de conchas, moluscos, etc., en abono calcáreo directamente asimilable por las plantas, como fertilizante natural.

Igualmente, la termólisis se aplica para la transformación en productos energéticos primarios (gas, carbón) de la casi totalidad de los desechos producidos por la civilización urbana e industrial.

2.7.1 La Termólisis como tecnología disponible para el tratamiento de llantas usadas

El país que tiene mas avance en esta tecnología es España, este proceso consiste básicamente en someter al material (llanta triturada) a un calentamiento en ausencia de oxígenos (atmósfera inertes), provocando así la ruptura de los enlaces químicos (craqueo), dando lugar a la aparición de cadenas cortas, media y largas de hidrocarburos, que constituirán la fase gaseosa sólida.

El procedimiento que es requerido en este tipo de sistema es la preparación de las llantas usadas, después someterlas a la termólisis, seguido del aprovechamiento de los materiales obtenidos, y finalmente la producción y/u obtención de la energía eléctrica.

Las ventajas principales son que existe una ausencia de combustión o quema directa en el material base, además se genera un aprovechamiento integral de la llanta usada, es decir, hay una separación de materiales a baja

temperatura antes de que entre a la caldera, conservando estos, sus propiedades originales, con la ventaja que ello conlleva.

Existe también un rendimiento energético global, en donde la termólisis permite la transformación de los componentes principales de la llanta usada en carbono y gas (combustibles convencionales). También hay una rápida amortización debido al bajo costo de la instalación, la capacidad de cada planta es de 10,000 a 20,000 toneladas anuales, consiguiendo una producción eléctrica de 2.5 a 5 MW, respectivamente.

La descripción de una planta completa, de eliminación y aprovechamiento de las llantas usadas mediante termólisis consta fundamentalmente de cuatro etapas:

- Preparación de llantas para su tratamiento
- Termólisis
- Aprovechamiento de los materiales obtenidos
- Producción de energía eléctrica

Mediante el proceso termólisis se produce la recuperación integral de todos los compuestos originales de las llantas, lo que supone un 100% de aprovechamiento de todos sus componentes originales.

Los productos obtenidos de la aplicación de termólisis a las llantas usadas son tres:

Hidrocarburos: Al ser combustible de alto poder calorífico, pueden ser introducidos en una caldera de vapor para el aprovechamiento energético mediante turbina.

Carbón: Debido a las cualidades que poseen se convierte en combustibles de alto poder calorífico y se podrá introducir, al igual que los anteriores, en la caldera de combustión. Las cenizas obtenidas en la combustión de los carbones, son depuradas mediante un sencillo tratamiento que permite su empleo en la fabricación de hormigones y otros materiales de construcción homólogos.

Metales: Al no sufrir alteración química alguna durante el proceso de termolización, pueden ser destinados a la venta directa tras su extracción del proceso mediante un desferrador tipo "Over Band".

3. INSTALACIONES DE TERMÓLISIS APLICADA ALTRATAMIENTO DE SÓLIDOS.

3.1 Planta de Termólisis Generadora de Energía Eléctrica, mediante Biomasa

Esta planta pertenece a “Termólisis y Reciclaje de Colombia ESP SCA”, GRUPO THERMOLYSIS®.

3.1.1 Definición Biomasa

La Ley URE la define como cualquier tipo de materia orgánica que ha tenido su origen inmediato como consecuencia de un proceso biológico y toda materia vegetal originada por el proceso de fotosíntesis, así como de los procesos metabólicos de los organismos heterótrofos.

La Biomasa esta contenida en los desechos de alimentos, en los de las casas, de las empresas, de las industrias, de los hospitales, de las labores agroindustriales, etc. Esta compuesta principalmente de oxígeno O, hidrógeno H, nitrógeno N y carbono C, y representa mas del 90% de los elementos que componen la vida del planeta.



Biomasa = Materia Orgánica después de la Fotosíntesis

3.1.2 Proceso de Termólisis

La Termólisis utiliza calor indirecto para convertir los materiales sólidos orgánicos en gases y sólidos con alto contenido de carbón. La conversión se lleva a cabo en una cámara de reacción donde el aire (oxígeno) está totalmente excluido.

El material dentro de la cámara de reacción se calienta a temperaturas de entre 400 y 500°C. La fuente de energía usada para el inicio del proceso, puede ser electricidad o gas natural. Los productos resultantes del proceso de termólisis incluyen gas (con alto contenido de metano), agua (en estado de vapor) y carbón.

3.1.3 Fundamento Fisicoquímico

El proceso es dependiente de las características de la materia prima, es decir, de los desechos sólidos alimentados al termolizador; de esta forma, las características de los productos se mantendrán dentro de rangos, acorde con la composición en cada sitio de generación.

Tabla II. Base de Cálculo de una tonelada de Sólidos

	% (EN BASE SECA)	PESO SECO (SIN AGUA) EN Kg
Material vegetal y restos de comida	20	200
Papel y cartón	12	120
Cristal	5	50
Materias plásticas	9.5	95
Tierra y roca en bruto	7	70
Hierro	6	60
Otros metales	0.5	5
Agua como humedad	40	400
TOTAL	100	1000

FUENTE: www.repors.eea.eu.int/topoc-report_2001-15/en.

Dentro del proceso de termólisis existen demandas energéticas como calor de evaporación y calor específico, que implican energía que es necesario suministrar.

Tabla III. Valores promedio de las Demandas Energéticas del Sistema de Termólisis

	Kilojoules	Kilocalorías
Secado Inicial	4937120	1180000
Secado Final	543920	130000
Energía de Activación	2092000	500000
Energía de Formación	627600	150000

FUENTE: www.repors.eea.eu.int/topoc-report_2001-15/en.

De la misma forma hay unas ofertas energéticas, que es energía que se libera en el proceso y puede ser aprovechada.

Tabla IV. Valores promedio de las ofertas energéticas del Sistema de Termólisis

	Kilojoules	Kilocalorías
Secado Inicial	4853440	1160000
Energía Termolizador	836800	200000
Poder Calorífico	7949600	1900000

FUENTE: www.repors.eea.eu.int/topoc-report_2001-15/en.

3.1.4 Reacciones Químicas

Son controladas por dos factores:

- La cantidad de Carbono, Hidrógeno, Oxígeno, Nitrógeno, Azufre y microelementos presentes
- La energía suministrada al sistema.

Los elementos halógenos (Cl, I, Br, F) no producen ácidos ni vapores ácidos, ya que son neutralizados por un medio alcalino como CaO o CaI; el producto de estas reacciones altamente exotérmicas, es una sal inerte y a veces, vapor de agua. De igual forma, el contenido de Nitrógeno y Azufre tendrá un tratamiento similar.

Todos ellos compuestos en forma sólida, que aparecerán principalmente en las cenizas.

Tabla V. Reacciones química llevadas a cabo en el termolizador

zona de deshidratación		
Temperaturas moderadas	Deshidratación	$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$ $H_2O (ac) \rightarrow H_2O (g)$
zona de Termólisis		
Temperaturas elevadas	Gasificación	<i>Reacciones Exotérmicas</i>
		$C + 1/2 O_2 \rightarrow CO$ $C + O_2 \rightarrow CO_2$ $N + 1/2 O_2 \rightarrow NO$ $N + O_2 \rightarrow NO_2$ $S + O_2 \rightarrow SO$
	Composición Térmica de Hidrocarburos	$C + 2H_2 \rightarrow CH_4$ $2C + 3H_2 \rightarrow C_2H_6$ $3C + 4H_2 \rightarrow C_3H_8$ $4C + 5H_2 \rightarrow C_4H_{10}$ $5C + 6H_2 \rightarrow C_5H_{12}$ $6C + 7H_2 \rightarrow C_6H^{14}$
		Neutralización de ácidos

FUENTE: www.repors.eea.eu.int/topoc-report_2001-15/en.

Las reacciones se producen dependiendo de la energía de formación de los nuevos compuestos, entre más baja, mayor probabilidad de generación; y de la energía presente en el reactor bajo la forma de materia prima, gas y carbón; la cual al incrementarse produce diversos productos.

Tabla VI. Energía de formación de reacciones Químicas producidas en el Equipo de Termólisis

REACCIÓN	NOMBRE COMPUESTO	ENERGÍA DE FORMACIÓN	
		(kJ/mol)	(kcal/mol)
$C + 1/2 O_2 \rightarrow CO$	Monóxido de carbono	110.88 -138.07	26.5 - 33
$C + O_2 \rightarrow CO_2$	Dióxido de carbono	393.30 - 394.55	94 - 94.3
$C + 2H_2 \rightarrow CH_4$	Metano	50.63 – 75.31	12.1 - 18
$2C + 3H_2 \rightarrow C_2H_6$	Etano	85.77	20.5
$3C + 4H_2 \rightarrow C_3H_8$	Propano	104.60	25
$4C + 5H_2 \rightarrow C_4H_{10}$	Butano	124.68 - 133.89	29.8 - 32
$5C + 6H_2 \rightarrow C_5H_{12}$	Pentano	146.44	35
$6C + 7H_2 \rightarrow C_6H_{14}$	Hexano	167.36	40
$N + 1/2 O_2 \rightarrow NO$	Monóxido de nitrógeno	86.61 - 90.37	20.7-21.6
$N + O_2 \rightarrow NO_2$	Dióxido de nitrógeno	33.47 - 51.46	8 - 12.3

FUENTE www.repors.eea.eu.int/topoc-report_2001-15/en.

De esta forma, los productos obtenidos se pueden controlar, al suministrar únicamente la energía necesaria para un determinado producto:

- **ENERGÍA EN EXCESO:** predomina la producción de carbón y Dióxido de carbono.
- **ENERGÍA LIMITADA:** predomina la producción de hidrocarburos livianos (metano).

Toda la energía interna de los productos obtenidos se convierte en poder calorífico (energía susceptible de liberarse a través de un proceso de combustión ordinario).

Tabla VII. Poder Calorífico Inferior (PCI) de algunos tipos de Biomasa

BIOMASA	PCI	
Desechos Sólidos Urbanos	14062.42 kJ/kg	3361 kcal/kg
El bagazo de caña	9506.05 kJ/kg	2272 kcal/kg
La Cáscara de arroz	13179.60 kJ/kg	3150 kcal/kg
La Cáscara de mostaza	17572.80 kJ/kg	4200 kcal/kg
La Cáscara del girasol	17384.52 kJ/kg	4155 kcal/kg
El tallo de algodón	16643.95 kJ/kg	3978 kcal/kg
El tallo de mostaza	16317.60 kJ/kg	3900 kcal/kg
Arroz Paddy más o menos	14644.00 kJ/kg	3500 kcal/kg
La Basura de cosecha	12049.92 kJ/kg	2880 kcal/kg
Estopa de coco	17489.12 kJ/kg	4180 kcal/kg
Astillas de Madera	18786.16 kJ/kg	4490 kcal/kg
Diversas Frutas	14225.60 kJ/kg	3400 kcal/kg
Fibra de la palma	11715.20 kJ/kg	2800 kcal/kg
Cañas de maíz	15593.77 kJ/kg	3727 kcal/kg
La cáscara de la palma	18367.76 kJ/kg	4390 kcal/kg
La cáscara del coco	16317.60 kJ/kg	3900 kcal/kg

FUENTE: www.repors.eea.eu.int/topoc-report_2001-15/en.

3.1.5 Descripción del Equipo para generar energía eléctrica con Biomasa

- PRIMERO: Situar un módulo de separación y reciclaje de las basuras.
- SEGUNDO: Convertir las basuras en combustibles, en un módulo de Termólisis.
- TERCERO: Usando estos combustibles, producimos la energía eléctrica, utilizando calderas y turbinas de gas y de vapor convencionales.

3.1.5.1 Primer módulo: Separación de desechos

- Separación manual y mecánica de los desechos orgánicos de los inorgánicos.
- Reciclaje de los vidrios y metales.
- Posibilidad de producir Compost (Res ICA 150 de 2003)

**Figura 2. Tromel para separación de livianos y pesados.
(Separación mecánica)**



FUENTE: www.repors.eea.eu.int/topoc-report_2001-15/en.

Figura 3. Patio de separación y reciclaje, mediante bandas transportadoras. (Separación manual)



Fuente: www.repors.eea.eu.int/topoc-report_2001-15/en.

3.1.5.2 Segundo módulo: Termolización

Termólisis: Es un proceso físico-químico, que mediante presión y temperatura, y en ausencia de oxígeno, rompe la unión de las moléculas de la BIOMASA ($C_6H_{12}O_6 + 6O_2$) contenida en los desechos sólidos, reagrupando los átomos en moléculas de GASES (CH_4), y CARBONES (C) combustibles, liberando el oxígeno. Ej.: Carbón Vegetal y el Craking del petróleo.

Figura 4. Termólizaci3n

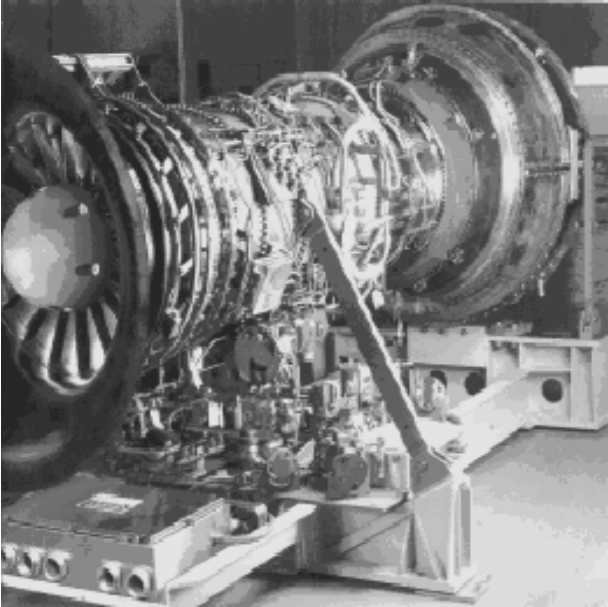


FUENTE: www.repors.eea.eu.int/topoc-report_2001-15/en.

3.1.5.3 Tercer M3dulo: Generaci3n de Energ3a El3ctrica

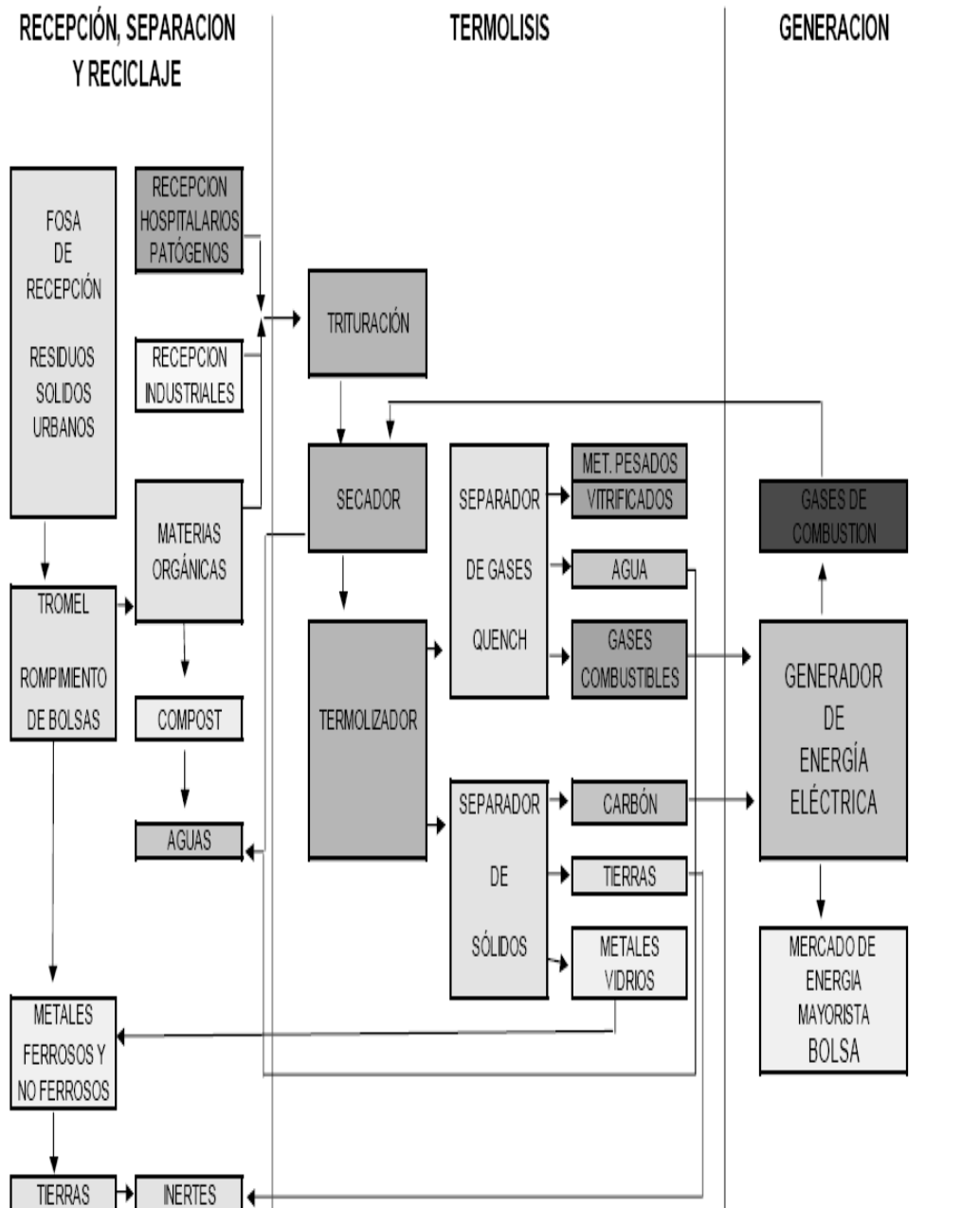
Mediante el aprovechamiento del carb3n y el gas producidos con la Term3lisis, producto del aprovechamiento de los desechos s3lidos urbanos, se genera energ3a el3ctrica, en turbinas y calderas convencionales. (Ciclo combinado).

Figura 5. Generación de Energía Eléctrica



FUENTE: www.repors.eea.eu.int/topoc-report_2001-15/en.

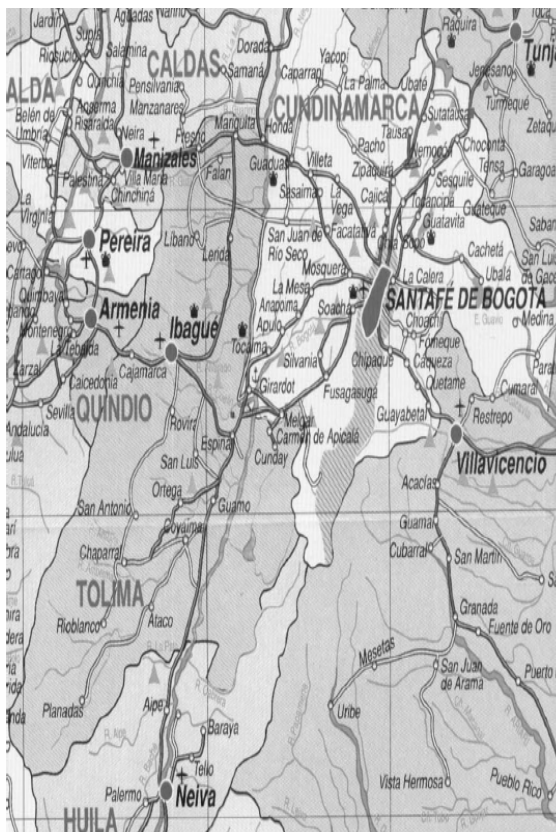
Figura 6. Diagrama de bloques de los tres procesos para generación de energía eléctrica con Biomasa



FUENTE: www.reports.eea.eu.int/topoc-report_2001-15/en.

Figura 7. Mercado Objetivo

MERCADO OBJETIVO
Población objetivo:
= 2.000.000 habitantes
Potencial de RSU:
= 1.400 tons/día
Poblaciones:
= 36
Estaciones de transferencia:
de RSU y cascarilla.
= 6
Potencial de cascarilla de arroz:
= 800 tons/día
Capacidad de la planta:
= 1000 tons/día de RSU
= 500 tons/ día de cascarilla
Generación bruta
= 85 Mw/h
Venta a la red
= 72 Mw/h



FUENTE: www.repors.eea.eu.int/topoc-report_2001-15/en.

Figura 8. Fotografía de las Instalaciones de “Termólisis y Reciclaje ESP SCA”



FUENTE: www.repors.eea.eu.int/topoc-report_2001-15/en.

3.1.6 Oferta

- El operador de aseo, ESP (pública o privada) pagará la tarifa autorizada por la CRA, para disposición final. (aprox. \$20.000 para el 2005)
- El operador se compromete a entregar los desechos a Termólisis y esta se compromete a no efectuar barrido y recolección de desechos. (en los casos de alianza con el operador)
- El operador y el municipio no invierten dinero en la planta de Termólisis. Es una inversión 100% privada.
- La energía se vende en el Mercado de Energía Mayorista MEM (La Bolsa) o por contratos. No es responsabilidad del operador de aseo o del municipio.

3.2 Planta Industrial de demostración en España

El GRUPO THERMOLYSIS® posee una planta industrial del tratamiento de diversos, por el procedimiento de Termólisis.

Ha estado ubicada en la ciudad de Vitoria. Actualmente, después de la aplicación de un avance tecnológico, esta en Bilbao.

En esta planta se han demostrado el tratamiento de diversos desechos:

- Lodos de depuradoras de agua

- sólidos urbanos
- Desechos de fragmentadoras de vehículos
- Neumáticos y cauchos
- Desechos de industrias de alimentación
- Animales muertos
- Envases tetrapac
- Etc.

3.2.1 Constitución de una planta procesadora

3.2.1.1 Los subconjuntos

La puesta en obra industrial de THERMOLYSIS® consiste en dividir el procedimiento en secuencias separadas, independientes las unas de la otras, cada una de ellas automatizable y capaz de funcionar según un balance de materia y energía, de forma precisa y controlada.

Estas secuencias dependerán del tipo de residuo que tratemos. Para un residuo complejo son:

3.2.1.1.1 Secuencias de reciclado

- Triaje
- Compostaje
- Trituración
- Secado
- Termólisis

- Tratamiento de gases:
 - Separación de gases
 - Lavado de gases

- Tratamiento de sólidos:
 - Separación de sólidos
 - Lavado del carbón

- Tratamiento de agua

3.2.1.1.2 Secuencia de valoración térmica

- Generación de energía: calor, frío, electricidad

3.2.1.1.3 Secuencia de inertización

- Vitrificación

Con estas tecnologías se logra residuo cero.

3.2.1.2 Preparación de los productos

Con el fin de realizar las diversas fases del procedimiento de forma automática, en cualquier caso sin la intervención de la mano del hombre sobre desechos contaminados, y en particular para asegurar la carga automática de

los hornos, los productos deben estar preparados; esto es, homogeneizados y calibrados antes del secado y del tratamiento térmico posterior.

Esta primera fase, que consiste en triturar los desechos y en separar los metales por extracción magnética, se aplica:

- a los desechos domésticos
- a los desechos industriales asimilables a urbanos

Es decir, a los desechos que se pueden mezclar sin contaminación y de composición heterogénea.

Si la planta trata otros desechos, como hospitalarios o industriales, se construirán líneas de tratamiento específicas para cada tipo de residuo.

3.2.1.2.1 Los equipos

La preparación, en una planta industrial, se compone de:

- Una tolva de recepción de los desechos, de la que constantemente se aspira el aire, evitando de esta forma, cualquier contaminación por olores.
- Los desechos se transportan mediante dispositivos de transferencia automática, que excluye toda manipulación manual de los mismos a partir de su descarga en la tolva.

3.2.1.3 El secado de los productos

El secado se realiza de manera muy clásica, en aparatos industriales que no necesitan recurrir al vacío ni a las altas temperaturas. La fase de secado tiene lugar a presión atmosférica. El aire, en contacto con el residuo, circula en circuito cerrado con condensación intermedia de vapores. Se calienta por transferencia de calor, por medio de aire caliente procedente de la planta de generación eléctrica.

Los productos suficientemente secos de origen pueden juntarse con los productos secados, antes de su introducción automática en los termolizadores, que funcionan en continuo.

3.2.1.4 La Termorreducción

Después de la fase de secado, o la fase de preparación previa para los materiales no húmedos, los materiales son introducidos automáticamente, y en continuo, en los termolizadores.

Son hornos con un recinto rotativo, calentados a temperatura de termólisis y mantenidos en atmósfera reductora.

En el seno de los hornos, llamados "termolizadores", los productos orgánicos se calientan hasta la craquización completa. En esta operación la temperatura y la presión se regulan de manera adecuada. La operación de termólisis propiamente dicha no dura más de una hora para los materiales más corrientes.

Los termolizadores están unidos a una bomba de vacío, que extrae los gases producidos, y a un extractor de productos sólidos, que saca el producto final de la cocción.

3.2.1.5 El tratamiento de gases

El primer proceso al que son sometidos los gases de la termólisis es una condensación por enfriamiento, separándose dos fracciones: hidrocarburos y gas incondensable.

A la fracción incondensable, se la somete a un proceso de lavado, y se la almacena para su utilización en los motores de gas.

Los hidrocarburos son reintroducidos en el horno de termólisis hasta su total craquización.

Los posibles contaminantes se llevan a la estación de inertización o vitrificación. Se convierten en vidrio.

El cloro se concentra en el agua de lavado y se encamina hacia una estación depuradora de agua que la planta incluye.

3.2.1.6 El tratamiento de sólidos

Los sólidos se separan por métodos densimétricos clásicos (vibrador de separación), en una fracción combustible, el carbón, y en una fracción esencialmente constituida por los compuestos inorgánicos minerales, entrantes en la composición de los desechos.

Métodos físico-químicos, permiten separar el carbón de los inertes.

Los posibles contaminantes se llevan a la estación de inertización o vitrificación. Se convierten en vidrio.

3.2.1.7 Tratamiento del agua

El agua se produce en el proceso de secado. En este proceso es condensada y transportada a la estación de depuración incluida en la instalación.

En el proceso se utiliza agua en el lavado de los gases. Esta agua circula en circuito cerrado, entre el lavador de gases y la estación de depuración.

Después de su tratamiento el agua va al canal de desagüe, con una "calidad río". Los lodos de esta estación son tratados por termólisis.

Los efluentes gaseosos que provienen de la planta de ciclo combinado, son devueltos al sistema en circuito cerrado: motores de gas, caldera y turbina de vapor. Por ser muy conocido este tipo de plantas, no lo expresamos en esta memoria.

3.2.2 Productos en los procesos

3.2.2.1 Productos entrantes

La planta trata productos procedentes de la recogida de desechos sólidos urbanos

3.2.2.2 Productos intermedios

El primer producto intermedio que obtenemos son los gases procedentes de la termolización, después de que han sido limpiados y separados de los condensables o hidrocarburos líquidos.

Los hidrocarburos líquidos son reciclados y transformados en gas suplementario y en carbón. Tienen una densidad media que varía de 0.95 a 1.05 Kg/l y un PCI del orden de 30 GJ/T. Están compuestos de cadenas de hidrocarburos (naftalina, antracina, oleofinas aromáticas, parafinas y disolventes ligeros).

La cantidad de gases después de la termólisis de los productos brutos se expresa en el capítulo de cálculos. Su masa específica es de 1.05 a 1.1 kg/Nm³.

Tabla VIII. Resultados de los análisis químicos efectuados, en urbanos.

COMPUESTOS	% VOLUMEN
Metano	>60
Etano	7
Propano	2.4
N-Butano	0.9
I-Butano	2.3
Total Butenos	5.7
N-Pentano	1.2
I-Pentano	<0.05
Hexano	2.2
Nitrógeno	2.9
Dióxido de carbono	5.6
Hidrógeno	0.7

FUENTE: *Aplicación de métodos térmicos al tratamiento de reciclaje de residuos urbanos. Pág.14*

El carbón constituye el otro producto utilizable como fuente de energía. Es un carbón polvo, cuya masa específica es de 350 a 400 kg/m³. Su peso específico es cercano al del agua.

Tabla IX. Propiedades del carbón según los análisis efectuados a las muestras de urbanos

GRANULOMETRÍA	Mínima	Máxima
Negro de humo (de 10 a 70 μm)	25%	35 %
Polvos finos (de 70 a 200 μm)	35%	45%
Polvos (de 200 a 500 μm)	30%	40%
ANÁLISIS FÍSICO	Mínima	Máxima
Carbono fijo	79%	89%
Cenizas	3%	8%
Materias volátiles	10%	15%
Humedad	2%	3%
Densidad del producto elaborado (relativa al agua)	0.8	1.1
ANÁLISIS QUÍMICO	Mínima	Máxima
Carbono	75%	85%
Nitrógeno	1.5%	2%
Hidrógeno	1.8%	2.1%
Oxígeno	2.5%	2.8%
Azufre	0,15%	0,35%
Cloro	0,02%	0,05%
Metales pesados	0,005%	0,02%

FUENTE: Aplicación de métodos térmicos al tratamiento de reciclaje de residuos urbanos
.Pág.15

3.2.2.3 Productos salientes

Los productos salientes de la planta son los siguientes:

3.2.2.3.1 Los humos

Los únicos humos que existen proceden de la combustión del carbón y de los gases producidos por la planta y el combustible adicional, en la unidad de generación de energía. Esta instalación de generación de energía está compuesta por motores de gas, y una caldera y turbina de vapor.

Los humos procedentes de la instalación de vitrificación se recirculan en el proceso.

Los humos producidos son limpios, ya que:

- el gas del procedimiento, biogás, se limpia antes de ser usado.
- No hay ningún contacto entre los humos y las basuras, tanto en el ámbito de THERMOLYSIS® (el horno es estanco) como de secado (el aire de secado se calienta por intercambio de calor con el escape procedente del ciclo combinado).

Hay que señalar que los gases extraídos de los vapores húmedos del secador o de otros niveles del procedimiento, son condensados y reintroducidos en el secador para evitar la expansión de olores, circulando en circuito cerrado.

3.2.2.3.2 El agua

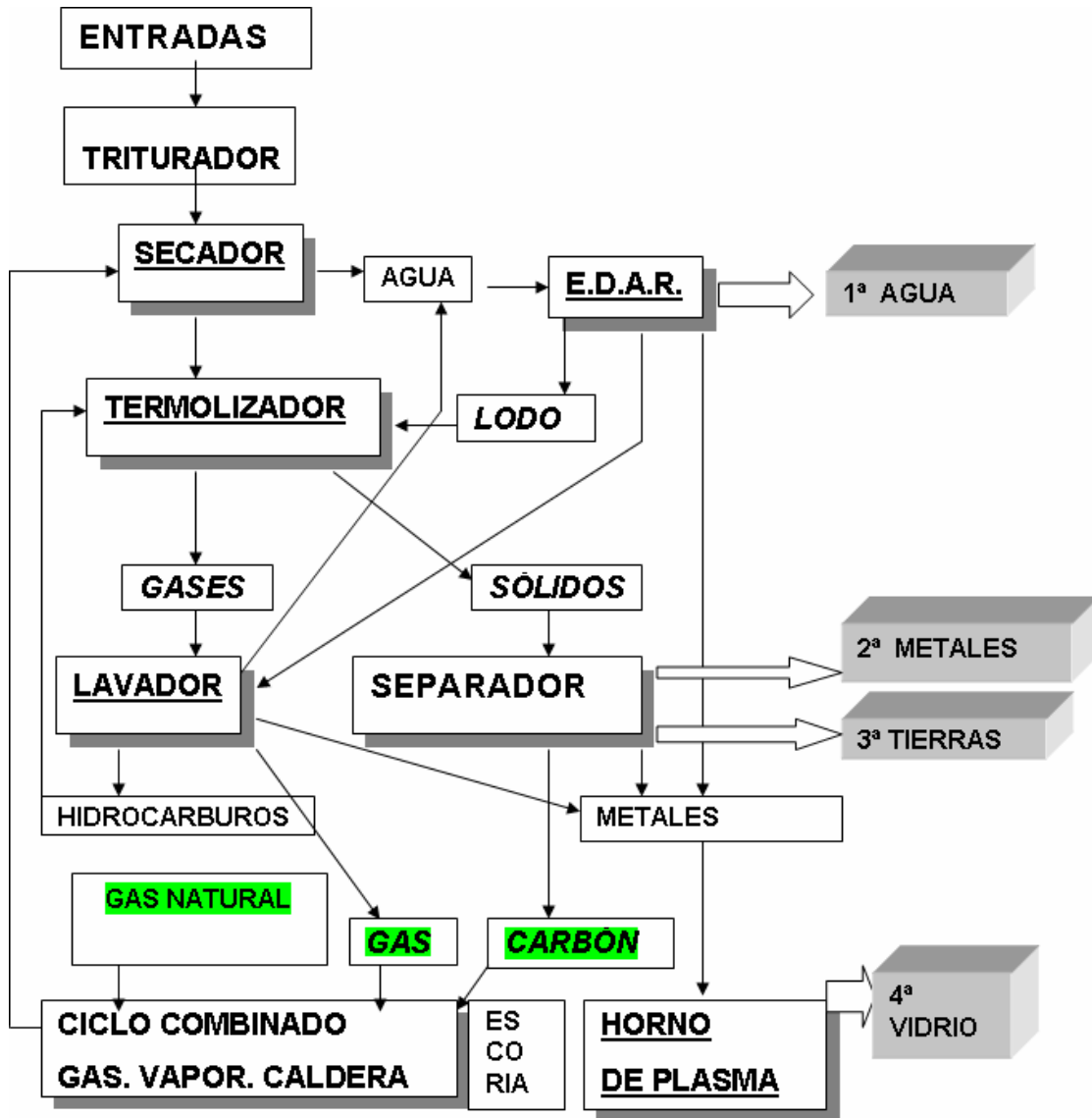
El agua recuperada proviene del secado de las basuras y de las purgas del lavador de gases. Esta agua contiene fracciones orgánicas generadoras de D.Q.O. Por esto se prevé una neutralización y un tratamiento físico-químico. Su calidad y su total carencia de contaminantes permitirán su empleo para riego.

3.2.2.3.3 Los inertes

Los inertes están constituidos por vidrio proveniente de la estación de vitrificación. Después del control del laboratorio de la planta THERMOLYSIS®, estos productos pueden venderse a fábricas de cerámica o fábricas de vidrio, o como relleno de tierra.

3.2.3 Esquemas de flujos y diagramas

Figura 9. Diagrama de flujo de los pasos del proceso de termólisis



FUENTE: Aplicación de métodos térmicos al tratamiento de reciclaje de residuos urbanos. Pág.17

Tabla X. Composición media de residuos sólidos urbanos para una muestra de 1 Ton.

Descomposición	Peso total bruto (Kg.)	Materia seca	Humedad
Materia vegetal y orgánica	500	200	300
Papel y cartón	200	120	80
Cristal	50	50	0
Materias plásticas	100	95	5
Tierra y rocas	85	70	15
Metales férricos	60	60	0
Metales no férricos	5	5	0
TOTAL	1,000	600	400

FUENTE: Aplicación de métodos térmicos al tratamiento de reciclaje de residuos urbanos. Pág.19

3.2.4 Termólisis de desechos sólidos urbanos

Figura 10. Trituración y secado de los productos brutos (Primera Etapa)



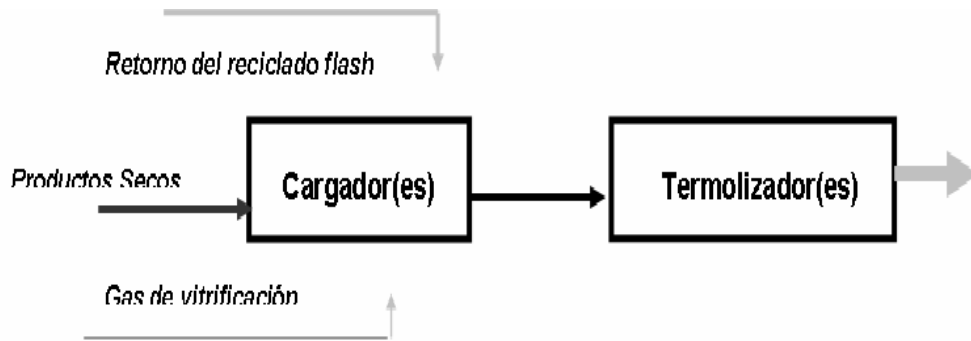
FUENTE: Aplicación de métodos térmicos al tratamiento de reciclaje de residuos urbanos. Pág.21

Tabla XI. Balances de materia (en kilogramos) y de energía (en termias)

Productos entrantes		Productos intermedios		Productos salientes
sólidos urbanos brutos brutos	<i>Trituración y Deferrallado</i>	Productos calibrados	<i>Secado</i>	Productos secos
1,000 Kg 1,850 Th		940 Kg 1,850 Th		580 Kg 2040 Th
		Ferrallas		Agua de condensación
		60 Kg 0 Th		360 Kg - 80 Th

FUENTE: Aplicación de métodos térmicos al tratamiento de reciclaje de residuos urbanos. Pág.21

Figura 11. Termólisis de los productos secos (Segunda Etapa)



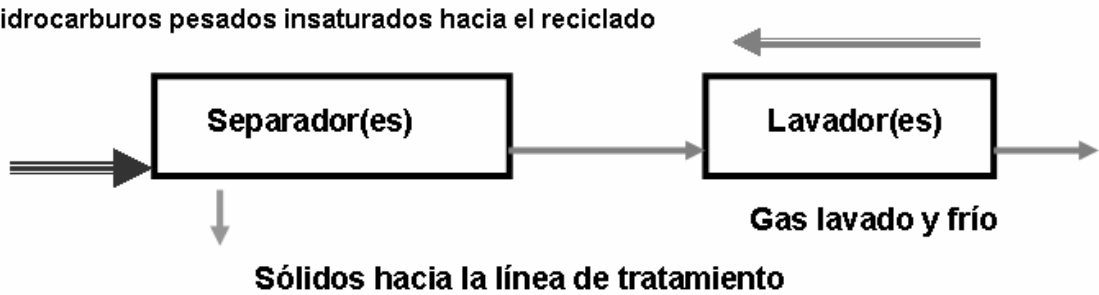
FUENTE: Aplicación de métodos térmicos al tratamiento de reciclaje de residuos urbanos. Pág.22

Tabla XII. Balances de materia (en kilogramos) y de energía (en termias)

Productos entrantes		Productos intermedios		Productos salientes
Productos secos 580 Kg 2,040 Th		Productos calibrados y Preparados por cargador		Productos Termolizados Mezclados
Retorno flash 100 Kg 960 Th		680 Kg 3,000 Th		680 Kg 3,000 Th
Gas vitrificación n 0 Kg 0 Th				

FUENTE: Aplicación de métodos térmicos al tratamiento de reciclaje de residuos urbanos. Pág.22

Figura 12. Separación de productos termolizados y lavado de gas (Tercera Etapa)



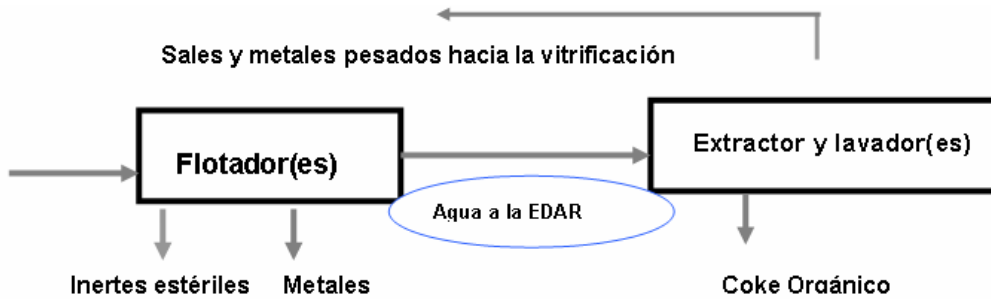
FUENTE: Aplicación de métodos térmicos al tratamiento de reciclaje de residuos urbanos. Pág.23

Tabla XIII. Balances de materia (en kilogramos) y de energía (en termias)

Productos entrantes		Productos intermedios		Productos salientes
Productos termolizados	Separador	Gas separado a 400°C	Lavador	Gas ligero enfriado
680 Kg 3,000 Th		280 Kg 1,750 Th		180 Kg 790 Th
		Sólidos en polvo		Hidrocarburos reciclados
		400 Kg 1,250 Th		100 Kg 960 Th

FUENTE: Aplicación de métodos térmicos al tratamiento de reciclaje de residuos urbanos. Pág.23

Figura 13. Separación y purificación de sólidos (Cuarta Etapa a)



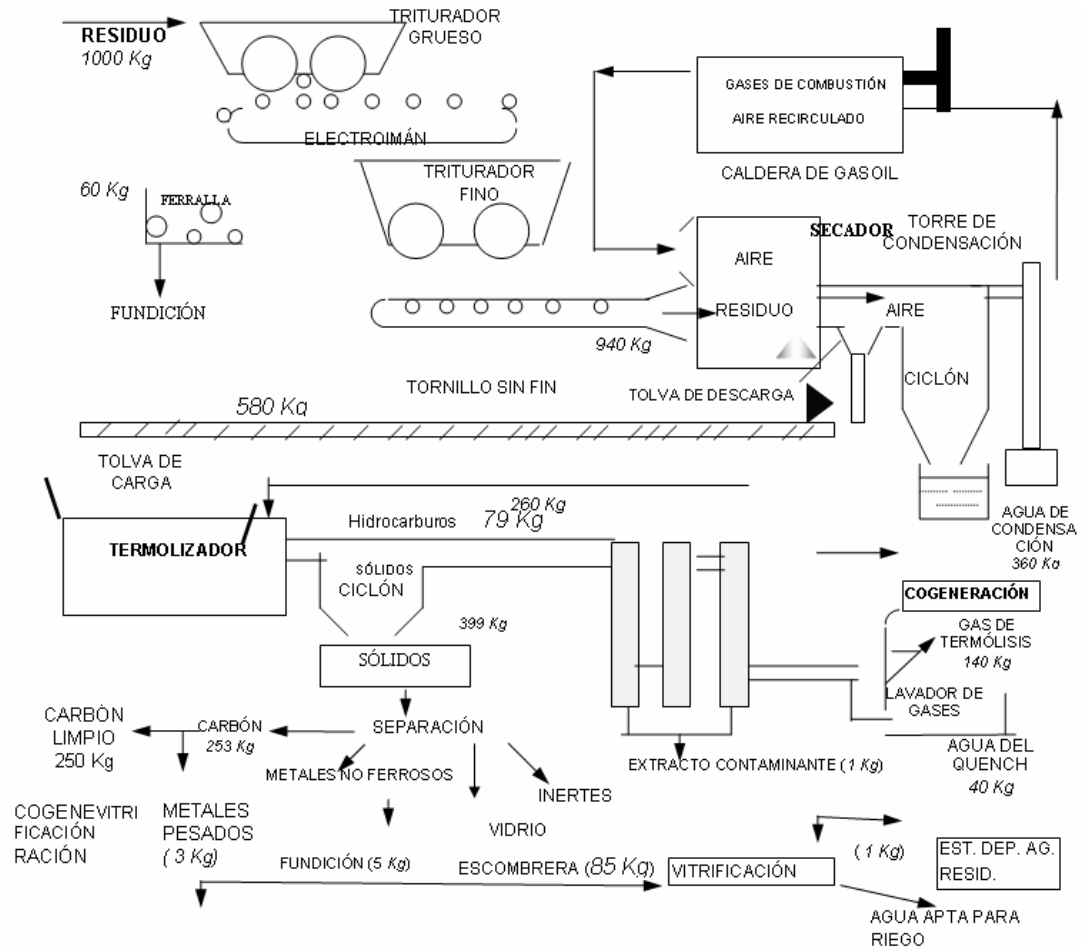
FUENTE: Aplicación de métodos térmicos al tratamiento de reciclaje de residuos urbanos. Pág.24

Tabla XIV. Balances de materia (en kilogramos) y de energía (en termias)

Productos entrantes		Productos intermedios		Productos salientes
Sólidos en polvo 400 Kg 1,250 Th	Flotador	Coke contaminado	Lavador	Coke orgánico puro
		251 Kg 1,250 Th		250 Kg 1,250 Th
		Metales no ferrosos		
		5 Kg 0 Th		
		Inertes estériles		Sales y metales Pesados
		144 Kg 1,250 Th		1 Kg 0 Th

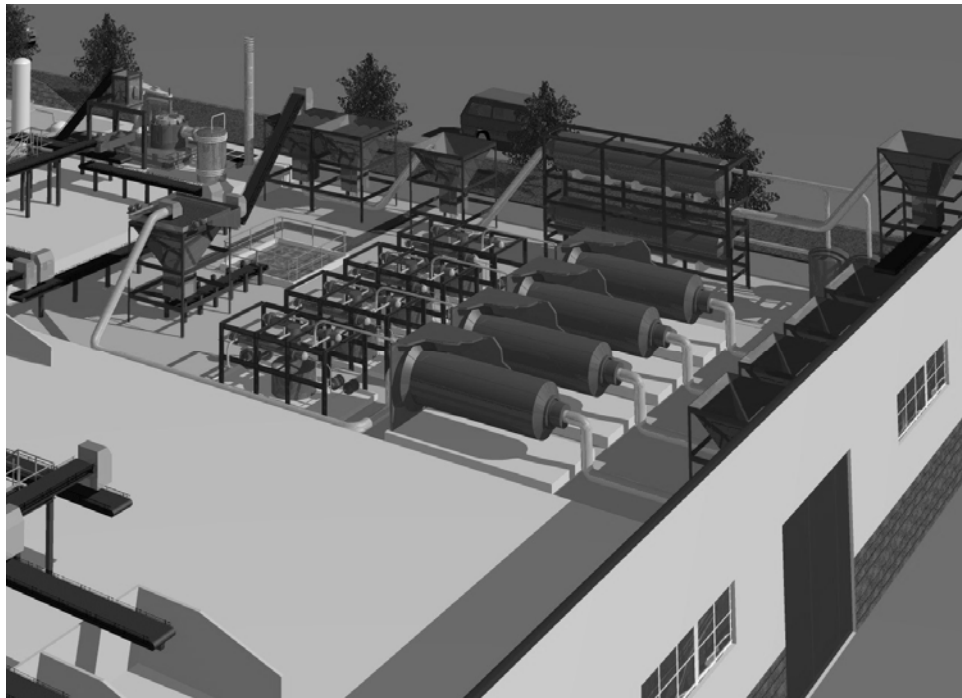
FUENTE: Aplicación de métodos térmicos al tratamiento de reciclaje de residuos urbanos. Pág. 24

Figura 14. Descripción del proceso de termólisis de desechos sólidos urbanos



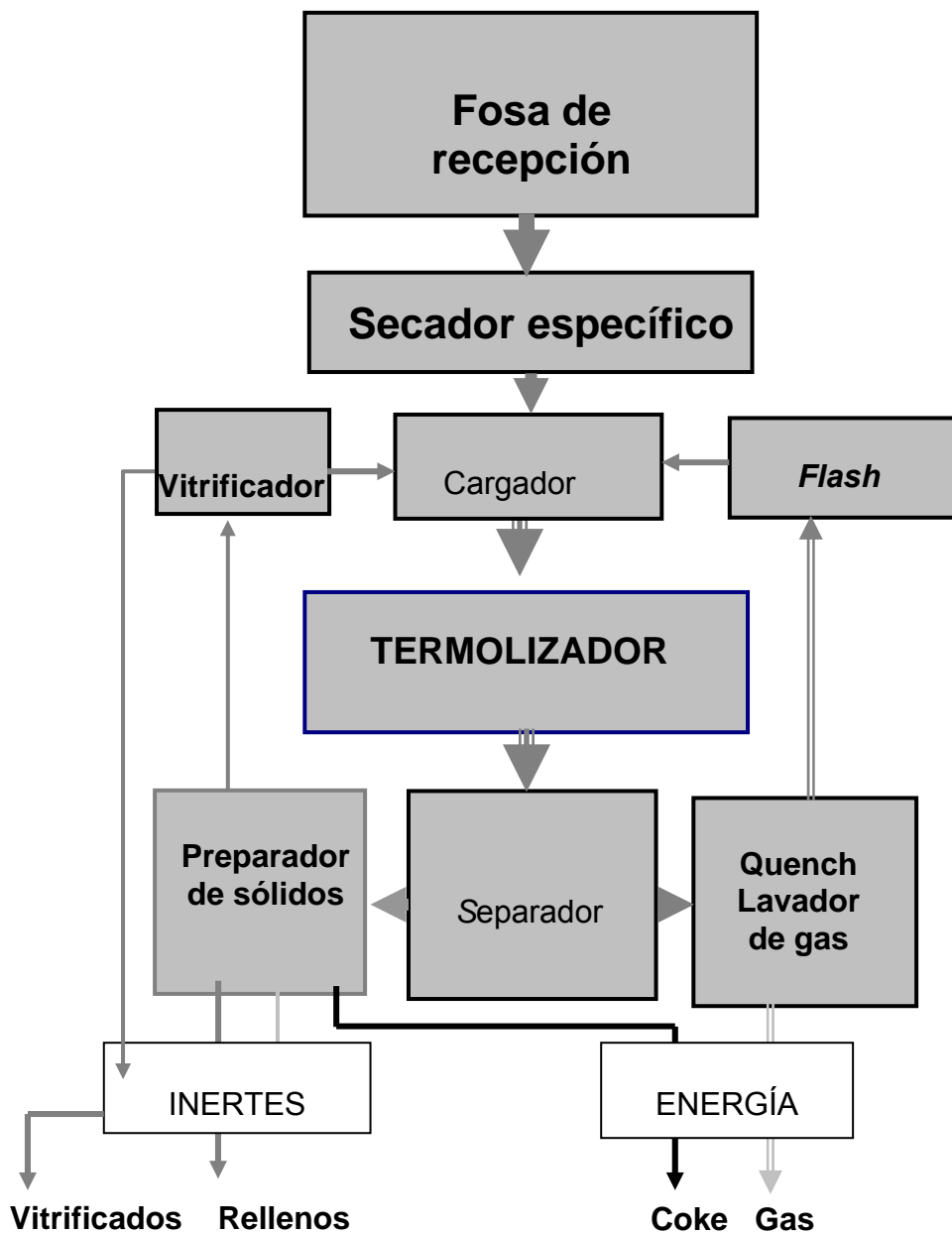
FUENTE: Aplicación de métodos térmicos al tratamiento de reciclaje de residuos urbano

Figura 15. Fotografía de una fábrica virtual de THERMOLYSIS® (etapa de Termólisis)



FUENTE: *Aplicación de métodos térmicos al tratamiento de reciclaje de residuos urbanos. Pág.26*

Figura 16. Esquema de principio del proceso THERMOLYSIS®



FUENTE: Aplicación de métodos térmicos al tratamiento de reciclaje de residuos urbanos. Pág.27

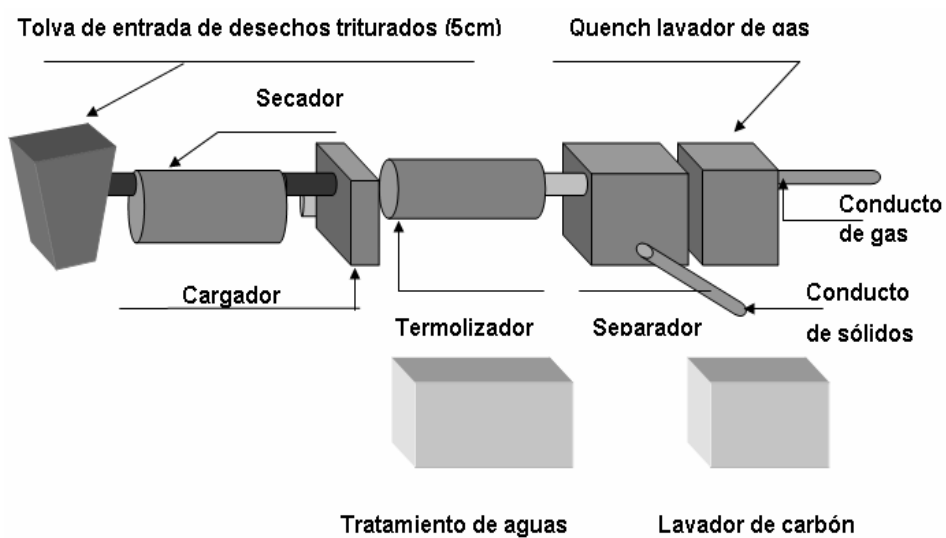
En la figura anterior, los circuitos de los productos intermedios del tratamiento de residuos se definen por flechas.

El Termolizador que es el dispositivo central del proceso, se destina a tratar no solamente el residuo bruto (seco al 90%), sino también los productos «reciclados», como los hidrocarburos poliinsaturados a la salida del reactor de flash, y el gas emitido en el proceso de vitrificación de los metales pesados y de sus compuestos.

Los secadores son hornos giratorios que evaporan la humedad de los residuos, por aire caliente, circulando en circuito cerrado; los vapores extraídos se condensan y el agua recogida y depurada.

Los termolizadores son hornos giratorios calentados con electricidad.

Figura 17. Croquis de una línea de THERMOLYSIS®



FUENTE: Aplicación de métodos térmicos al tratamiento de reciclaje de residuos urbanos. Pág.28

3.2.5 Capacidad y Funcionamiento de la planta de Termólisis para Sólidos urbanos

Cada línea de termólisis puede funcionar 8,000 horas por año y tratar de 1 a 5 Tm/hora de desechos brutos. Las líneas mejor dimensionadas se diseñan para tratar 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 toneladas/hora.

Las fábricas mejor dimensionadas tratan 20,000, 50,000, 100,000 y 150,000 Tm/año, es decir 55, 160, 330, 500 toneladas/día. Se componen de entre 4 y 8 líneas idénticas que funcionan automáticamente. Pueden realizarse plantas de mayor capacidad, aumentando las líneas.

Cada fábrica, que se diseña para tratar más de 50.000 toneladas/año, lleva al menos una línea de reserva para garantizar un funcionamiento permanente a la potencia nominal.

3.3 Instalaciones modulares para termólisis en Colombia

3.3.1 Proceso de termólisis para instalaciones modulares

Los desechos sólidos se colocan en un compactador que los reduce hasta sólo un diez por ciento de su volumen original (una densidad de 2000 kg./m³), sin separación ni tratamiento previo.

Con una fuerza de compresión de 1000 toneladas los desechos se forman en tapones impermeables al gas y se introducen a presión en un canal de extracción de gases para luego ser sometidos a un proceso de calentamiento a temperaturas que alcanzan los 2000 grados centígrados, que permite separar los componentes orgánicos e inorgánicos para obtener, primordialmente, gas y materias primas minerales.

Estas condiciones permiten simular las condiciones del centro de la tierra para producir una fusión, en la cual, ningún tipo de material comúnmente hallado en los desechos pasa inalterado.

El gas de síntesis se somete a limpieza total en varias etapas, recuperándose sales industriales, azufre y agua pura. El gas puede ser utilizado para generar energía, así de cada tonelada de basura se obtienen más de 400 Kw. El proceso no permite la reformación de compuestos orgánicos, la formación de óxido de azufre - ozono por las características que este sistema particular posee, sin que para esto se requieran filtros de control. Entre los metales y minerales resultantes del proceso, se destaca un granulado mineral que, mezclado con asfalto, se puede usar en la pavimentación de calles.

Todos son reutilizables y quedan nuevamente a disposición de la industria metalúrgica. Del tratamiento de una tonelada de basura, con la utilización de 500 kg. de oxígeno, se obtiene los siguientes elementos, sin la necesidad de tratamientos posteriores:

890 kg de gas de síntesis (poder calorífico: 7,2 a 8,6 mj/m³).

350 kg de agua (utilizable como refrigerante).

230 kg de granulados minerales para la construcción.

29 kg de granulados metálicos para la metalurgia.

10 kg de sales (cloruro de sodio calidad industrial)

3 kg de metales pesados concentrados.

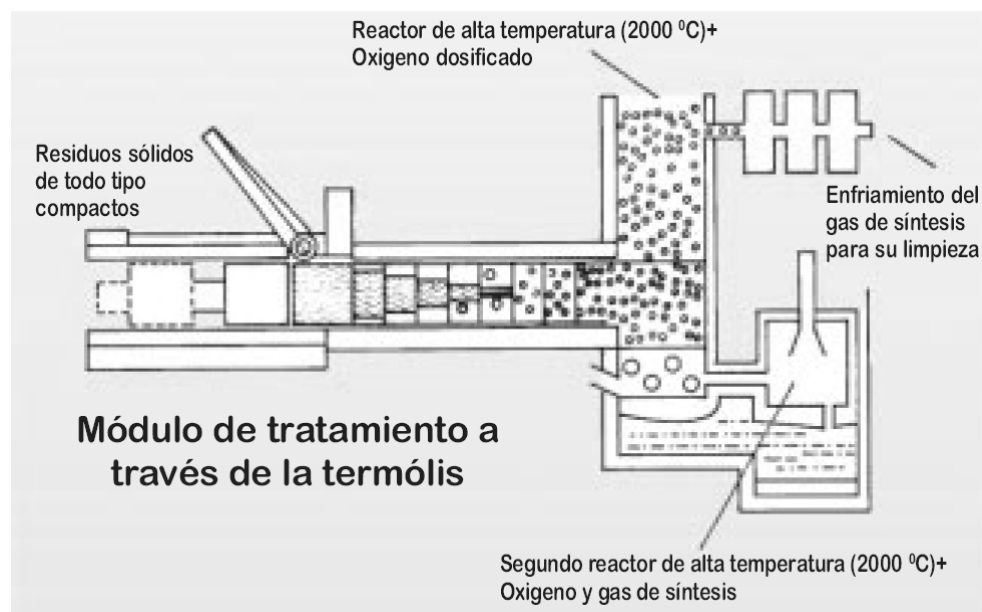
2 kg de azufre de calidad industrial.

3.3.2 Equipo requerido en instalaciones modulares

Las instalaciones son modulares y sus dimensiones se adaptan a las necesidades del usuario, todos los módulos que se requieran comparten un depósito de desechos y una planta de purificación de aguas del proceso.

Estas plantas pueden ser ubicadas dentro del casco urbano ya que no producen emisiones como olores, ruidos y humos, por lo tanto, se optimiza la recolección de desechos reduciendo así los costos de la misma.

Figura 18. Esquema del equipo modular



FUENTE:www.sabanet.unisabana.edu.co/.../ambiental/materialIII/4toxicos/LIBROS%204ok.pdf

3.3.3 Estado Tecnológico

Tecnología de punta probada, que en los últimos años ha dado alta confiabilidad a la solución del problema de los desechos sólidos, a través de un moderno equipo térmico, que permite una valorización óptima para la recuperación de energía y de materiales reciclables.

3.3.4 Aplicabilidad

Aplica para todo tipo de desechos en mezcla y pueden instalarse inclusive en áreas urbanas.

3.3.5 Limitaciones

No se conocen, aunque no trata satisfactoriamente desechos de escombros y demolición de obras civiles y construcción.

3.3.6 Ventajas

- No se presenta un impacto ambiental significativo, ya que no genera emisiones tóxicas y molestas para la población, no produce ni olores ni ruido.
- Demanda baja disponibilidad de espacio.
- Los productos que genera pueden ser reutilizados en la industria.
- Presenta un interesante ahorro financiero que se traduce en un menor costo de tratamiento por tonelada en comparación con los sistemas conocidos al presente.
- Produce valores de emisión de sustancias dañinas (dioxinas, furanos y metales pesados) muy por debajo de los límites especificados por las leyes internacionales de la Unión Europea y de los límites que impone la EPA en los Estados Unidos.

- Garantiza la destrucción total de dioxinas y otros compuestos orgánicos sin producir cenizas, escorias o polvos de filtración.

3.3.7 Desventajas

- Fundamentalmente elevados costos de adquisición y mantenimiento.

3.3.8 Confiabilidad

Ofrece alta confiabilidad, lo cual ha sido probado ya en diferentes países.

3.3.9 Experiencia en otros países

Hasta el momento se han instalado plantas con esta tecnología en países como Alemania, Japón, Italia, Suiza y Corea y esta iniciando trabajos de instalación en Estados Unidos, Brasil y el área del Caribe.

3.3.10 Implementación en Colombia

Hasta el momento no existe ninguna instalación, pero se busca implementarlas en Colombia aprovechando las facilidades que ofrece la industria metalúrgica y la mano de obra calificada en el país.

3.3.11 Análisis de parámetros Legales, Institucionales, Financieros, Técnicos y Ambientales

En el momento, se considera una tecnología de punta, se erige como la solución más moderna, la cual está desarrollada ya en algunos países, el cual es un sistema basado en el concepto de valoración energética de los desechos sólidos pero con una tecnología mucho mas moderna y segura.

3.3.12 Impacto Ambiental

- Positivo: Manejo ecológico con prácticamente cero emisiones atmosféricas.
- Negativo: Baja utilización de mano de obra.

3.3.13 Control y Mitigación Ambiental

El control debe hacerse sobre el manejo tratamiento que provee esta tecnología por cuanto asegura prácticamente cero emisiones.

De otro lado, cuando se da la preparación preliminar de los desechos a granel, los cuales pueden ser triturados para luego ser convertidos en un producto más homogéneo (facilitando su eliminación y su acondicionamiento).

Deben tomarse las medidas adecuadas para su manipulación y las condiciones de seguridad de los operarios.

3.3.14 Nivel de Complejidad

Teniendo en cuenta los altos requerimientos tecnológicos y los altos costos de operación y mantenimiento, su aplicación en municipios colombianos debe realizarse previo a un análisis detallado de factibilidad integral (económico, técnico y financiero).

3.3.15 Costos aproximados

Tecnología de punta modular, en la cual el requerimiento de área que demanda el equipo es bajo ya que solo ocupa 2.2 Ha por módulo aproximadamente.

Estos módulos tienen un costo aproximado de 200 millones de dólares cada uno y cada módulo puede generar de 200 a 220 millones de Kw /h al año.

3.4 Equipo de Termólisis controlada del tipo vertical en Guatemala

Al observar la técnica diseñada por la naturaleza y aplicar ingeniería química, se desarrolla lo que se denomina Termólisis Controlada.

La escasez de recursos en Guatemala para este tipo de inversiones obliga a diseñar un equipo sencillo, cuyo tamaño permite la construcción de estos cerca de los lugares de acumulación de sólidos urbanos, representado un ahorro en consumo de combustible para transportar la basura.

Este equipo tiene la característica de ser del tipo vertical, ya que en las instalaciones anteriormente descritas los equipos son del tipo horizontal.

3.4.1 Termólisis controlada del tipo vertical

Proceso de destrucción de materiales sólidos orgánicos con calor controlado, descomposición térmica rompiendo el material orgánico en ausencia de aire, de 450°C - 550 °C, aproximadamente en 20 minutos.

3.4.2 Características fisicoquímicas de los sólidos empleados en la termólisis controlada del tipo vertical

Las características fisicoquímicas de domiciliarios típicos no clasificados en el tratamiento son el promedio:

Humedad 40%

Material combustible 41%

Inertes 19%

PCI 7112.8 KJ/kg (1700(Kcal/kg)

Obteniéndose los siguientes resultados para 0.5 ton de (capacidad del reactor de termólisis controlada de tipo vertical de la figura 19):

Carbón 170 kg;

Hidrocarburos 40kg y

Gas Combustible 200 kg

3.4.3 Aplicación de la Termólisis controlada del tipo vertical

El tratamiento de termólisis es aplicable de manera uniforme al conjunto de domiciliarios (orgánicos e inorgánicos), hospitalarios (Biológicos) e industriales (neumáticos, disolventes aceites usados, refinerías....etc.), y otros en estado sólido, líquido o gaseoso.

3.4.4 Productos de la Termólisis controlada del tipo vertical

La temperatura de tratamiento utilizada es de 500 °C, la cual favorece la formación de productos combustibles que se desprenden de la destilación de las materias orgánicas y permite la recuperación de materiales reciclables contenidos en los desechos, sin pérdida, y en condiciones sanitarias optimas.

Según los resultados habituales de la química orgánica, las materias orgánicas contenidas en los producen gases combustibles, hidrocarburos y carbones, cuyas proporciones relativas dependen de las características de los desechos y del conducto operacional de las instalaciones.

Los inertes so recuperados en su casi totalidad y pueden ser separados con vistas a su comercialización, por ejemplo los materiales, vidrios y otros.

3.4.5 Descripción del equipo de Termólisis controlada del tipo vertical

Una explicación sencilla del equipo, consta de un tubo vertical que contiene el ladrillo refractario formando un TERMO; en la parte superior se adiciona carbón cuya función es la de combustible y filtro de gases, cal empleada como neutralizante de ácidos, y por supuesto los sólidos. Formando capas de carbón, cal, sólidos de forma sucesiva.

Conforme sucede la termólisis, las capas van bajando de;

Primera zona: deshidratación (200-300° C)

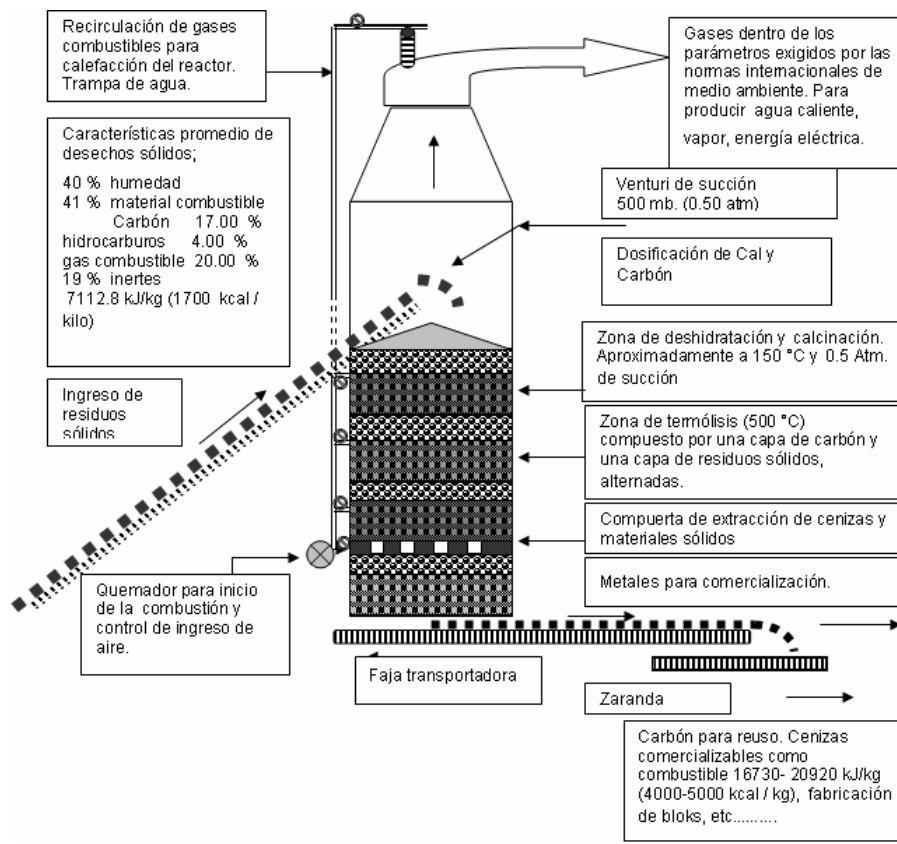
Segunda zona o intermedia: Termólisis (500-600° C)

Tercera zona o final: carbonizados y / o esterilizados

Los gases por su calidad pueden ser reutilizados. El carbón, vidrio, metales y otros pueden ser comercializados sin riesgos para la salud ya que se encuentran prácticamente esterilizados.

No se necesita la construcción de un proyecto gigantesco, una mejor opción es optimizar pequeños módulos de termólisis y ubicarlos en la cercanía de lugares donde se producen sólidos evitando transportarlos, ya que consume toneladas de combustible y produce toneladas de dióxido de carbono a la atmósfera.

Figura 19. Reactor de Termólisis Controlada del Tipo Vertical



DISEÑO ELABORADO POR: Ingeniero Químico; Luís Alfonso Cruz Gordillo

3.4.6 Etapas de la Termólisis controlada del tipo vertical

3.4.6.1 Recolección y Transporte

La recolección y transporte, es la etapa más importante, en términos de costos dentro de la gestión de los desechos, ésta por lo general la realizan cuadrillas de hombres, con equipos de recolección, consistente en camiones de diversas características.

El sistema de recolección mas satisfactorio, que pueda proporcionarse a la población, resulta luego de un estudio, en donde inciden numerosos factores como: tipo de residuo producido y cantidad, características topográficas de la ciudad, clima, zonificación urbana, frecuencia de recolección, tipo de equipo, extensión del recorrido, localización de basura, organización y rendimiento de cuadrilla, responsabilidades.

El punto de recolección mas adecuado, es la recogida en la acera, porque reduce el tiempo necesario para cada servicio. La recolección de basura se realiza generalmente de día, en las zonas residenciales y durante la noche en las zonas comerciales de las grandes ciudades, para evitar problemas con el tráfico.

Es importante comentar que en el tratamiento de termólisis, esta fase no se desarrolla, ya que el equipo se encuentra ubicado en las cercanías de los lugares donde se producen los sólidos, evitando de esta manera el costo de esta etapa.

3.4.6.2 Trituración

Se aplica solamente a aquellos desechos a granel, y consiste en la preparación y homogenización (tamaño de las partículas) preliminar de desechos triturándolos para convertirlos en productos más homogéneos, facilitando su eliminación y su acondicionamiento en los contenedores que alimentan el equipo de termólisis.

3.4.6.3 Secado

Los sólidos deben entrar en el reactor de termólisis, con el menor contenido de posible de humedad, sin embargo los con contenidos de humedad altos también pueden ser utilizados en el reactor pero con un mayor costo energético.

Una opción al utilizar con un contenido de humedad, alto es secarlos antes de ser ingresados al reactor, utilizando los gases de chimenea producidos en el mismo proceso.

3.4.6.4 Degradación Térmica

Cuando se aumenta la temperatura de un desecho sólido, en ausencia de oxígeno, las moléculas orgánicas complejas del mismo se degradan y se transforman en gases ligeros como H₂, CH₄, CO₂, CO, e hidrocarburos ligeros.

De manera simultánea otra fracción de los desechos se carboniza, formando desechos carbonosos. También forma HCl, H₂S, que por la peligrosidad de estos ácidos se añade cal para neutralizar. Los contaminantes y metales pesados contenidos en el desecho, quedan contenidos en el residuo carbonoso.

3.4.6.5 Tratamiento de los Productos

Los gases de síntesis generados en el proceso de combustión, se acondicionan para ser aprovechados energéticamente y son enviados al compartimiento de deshidratación (primera zona), donde se reutilizan para la calefacción del equipo de termólisis controlada del tipo vertical.

Los ya secados, pasan a la zona intermedia o zona de termólisis, en donde se lleva a cabo la destrucción de materiales sólidos con calor controlado, pasando luego a la zona final (tercera zona), en donde se encuentran los carbonizados o esterilizados.

En la descarga del equipo de termólisis controlada del tipo vertical, una banda transportadora porta carbón, metales e inertes. El carbón es retirado a través de una zaranda, para ser reutilizado; los productos sólidos restantes, son tratados con los métodos comunes de clasificación, los inertes como el vidrio, son sanitariamente inertes, pueden ser comercializados para ser reutilizados.

4. LA TERMÓLISIS FRENTE A OTRAS TECNOLOGÍAS EMPLEADOS EN EL TRATAMIENTO DE SÓLIDOS

4.1 Definición de Incineración

La incineración es el proceso de reducción de los Residuos sólidos (del orden de 90% en volumen y 75% en peso) a material inerte (escoria y cenizas) y a productos oxidados mediante la combustión, provoca la descomposición de las sustancias por vía térmica, mediante la oxidación a temperaturas elevadas (760°C o más) destruyendo la fracción orgánica de los residuos y reduciendo su volumen considerablemente.

4.2 Definición de Relleno Sanitario

Es el método más conocido para disponer los residuos sólidos no aprovechables. Podemos definir Relleno Sanitario, como el sitio donde se depositan los residuos no aprovechables que produce una ciudad, población o zona habitada, de tal manera que, mejorando el paisaje, se produzca el mínimo daño al ambiente y a la salud de la población sometida al riesgo de sus efluentes.

Es el sitio donde diariamente la basura se recibe, se riega, se compacta y se tapa, minimizando y tratando los gases y lixiviados que se produzcan. El relleno sanitario puede tener la posibilidad de recuperar tanto las áreas alteradas por la naturaleza, como las erosionadas o las alteradas por el hombre.

4.3 La Termólisis vrs. Incineración y rellenos sanitarios

Al comparar estas tecnologías con la termólisis las ventajas económicas de esta es el gran porcentaje de materiales entrantes de desecho que se obtienen como productos intermedios y finales los cuales pueden ser comercializados representando una alta rentabilidad.

Otra de las ventajas económicas, es el bajo costo de la tonelada de desechos procesados, en comparación con la incineración, ya que los rellenos sanitarios conservan estos valores muy cercanos a los de la termólisis.

Dentro de las ventajas ambientales de la termólisis, esta la emisión de menor cantidad de gases que la incineración, la cual emite gases tóxicos contaminantes; y la menor emisión de gas metano que la de los rellenos sanitarios.

La reducción de costos de transporte y la disminución de dióxido de carbono al ambiente debido al que los residuos tienen a cero.

El ámbito de temperatura del tratamiento de la termólisis, no requiere de desechos con alto poder calorífico, como ocurre en la incineración, en la cual en el caso de no tener desechos como estos, se debe de emplear combustible adicional, lo que representa un alto costo y mayor contaminación.

Tabla XV. Termólisis controlada del tipo vertical vrs. incineración y Rellenos Sanitarios

	PROCESO		
	TERMÓLISIS	INCINERACIÓN	RELLENOS SANITARIOS
COMERCIALIZACIÓN DE PRODUCTOS	Para una tonelada de basura se obtiene entre otros: - 0.23 ton de carbón (Q0.03/ton.) - 0.029 kg de granulado metálico (Q900/ton – Q500/ton de primera clase; Q500/ton – Q400/ton, de segunda clase)	Aproximadamente el 3 % de los desechos que entraron al sistema serán hollín de los gases combustibles. El 30% de los desechos entrando serán sólidos (escoria) no comercializables con alto contenido de contaminantes.	Productos comercializados para reciclado o rehúso por los pepenadores.
EMISIÓN DE GASES	10 veces menos que en incinerador.	Emisiones de gases contaminados dioxinas, furanos, ácidos, oxido nitroso, dióxido de azufre, polvos y metales tóxicos.	Gas metano (debido a su mal control produce incendios espontáneos)
RANGO DE OPERACIÓN TÍPICOS	Posibilidad de operar entre 25-100% de su capacidad.	Debe operar a su capacidad instalada al 100%	Solo se ocupa el 60 -65 % del volumen total.
COSTO POR TONELADA DE DESECHO PROCESADO	Q60- 70/ton. Menos la comercialización de residuos.	Q480/ton. (Variable de 400 – 720) dependiendo del sistema de depuración de contaminantes.	Q48/ton (variable de 24 – 80) con amortización.

Continúa

<p>ÁMBITO DE TEMPERATURA DEL TRATAMIENTO</p>	<p>Temperatura de tratamiento uniforme 500°C</p>	<p>Debido a las altas temperaturas con que se opera 750-1000°C se requieren residuos con alto poder calórico, de manera contraria se emplea combustible adicional.</p>	<p>La descomposición de la materia orgánica en los rellenos sanitarios, que se realiza por la actividad microbiana anaeróbica, genera diversos subproductos, entre ellos el biogás. Por lo tanto, condiciones favorables de medio para la supervivencia de los microorganismos anaeróbicos pueden desarrollarse a temperaturas de entre 10 y 60°C, teniendo un óptimo entre 30 y 40°C (fase mesofílica) y otro entre 50 y 60°C (fase termofílica).</p>
<p>REPERCUSIONES DEL COSTO DE TRANSPORTE</p>	<p>Residuos sólidos tienden a cero. No se necesita vertedero, reduciendo los costos del transporte.</p>	<p>Es una central de proceso (debido a su tamaño), lo que implica gastos en el traslado a la planta de los desechos sólidos.</p>	<p>Altos costos de transportación de los desechos al vertedero</p>
<p>DESECHOS OBTENIDOS AL FINAL DEL PROCESO</p>	<p>Entre el 30 – 40 % en peso de los materiales entrantes (desecho o basura) se obtiene como material procesado para comercializarse o reciclarse.</p>	<p>Quedan el 20% de residuos después del proceso.</p>	<p>Quedan de 35 – 40% de residuos después del proceso.</p>

FUENTE: www.sabanaet.unisabana.edu.co/.../ambiental/materialIII/4toxicos/LIBROS%204ok.pdf

CONCLUSIONES

1. El tratamiento debe efectuarse en atmósfera reductora, en total ausencia de oxígeno.
2. Por ser un equipo modular se puede trasladar y colocar cerca de los lugares de generación de mayor cantidad de desechos sólidos.
3. La Termólisis ocasiona poca contaminación del aire, solamente los gases generados por el combustible utilizado en el inicio del proceso.
4. Los efluentes de la Termólisis son menos peligrosos que los de los Rellenos Sanitarios.

RECOMENDACIONES

1. Difundir la técnica de Termólisis a través de la Escuela de Ingeniería Química, principalmente a los estudiantes de los siguientes cursos: química ambiental, control de contaminantes industriales y operaciones unitarias complementarias (IQ-6).
2. Agregar el proceso de Termólisis como contenido en los cursos de Química ambiental, operaciones unitarias complementarias (IQ-6), control de contaminantes industriales.
3. Fomentar la construcción de un reactor de Termólisis como trabajo de graduación, para estudiantes de la carrera de Ingeniería Química.
4. Emplear la Termólisis controlada del tipo vertical para el tratamiento de desechos sólidos de origen domiciliar, industrial y hospitalario de manera simultaneas.

BIBLIOGRAFÍA

1. Aplicación de métodos térmicos al reciclaje de residuos urbanos RSU. Junio 2005.
2. Benchmarking Europeo.
<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd51/valorizacion/cap6.pdf>
3. Encarta 2006. Biblioteca Premium. Microsoft®.
4. Guía para la selección de tecnologías de manejo integral de residuos sólidos. Talleres Fitolito América Ltda., Ministerio de Medio Ambiente Bogotá, D.C.- Colombia- Junio 2002.
5. Guía para la selección de tecnología de manejo integral de residuos sólidos.
<http://www.sabanet.unisabana.edu.co/.../ambiental/materia/ciclolI/4toxicos/LI BRO%204%20-PARTE204ok.pdf>. (20 septiembre 2006).
6. Guía para la selección de tecnología de manejo integral de residuos sólidos. FichaTécnica7.3.3.<http://www.sabanet.unisabana.edu.co/.../ambiental/materia /ciclolI/4toxicos/LIBRO%203%20-PARTE204ok.pdf>. (20 septiembre 2006).
7. Instituto nacional de ecología.
www.ine.gob.mx/ueajei/publicacions/libros/133/manejo.html-147k-
8. Llantas usadas. Diagnóstico de la situación actual en el Distrito Federal. Gobierno del Distrito Federal, México, Secretaria del medio ambiente. 2002.

9. Cruz Gordillo, Luís Alfonso. Reacondicionamiento y Revalorización de desechos sólidos de origen municipal, industrial y hospitalario. 2004.

10. Seminario Energías Alternativas en Colombia, Universidad Nal., Bogotá, DC http://www.reports.eea.eu.int/topic-report_2001-15/en. (20 de Septiembre 2006).

ANEXOS

Anexos 1

PROCESOS COMERCIALES DE TERMÓLISIS

1. Empresa *NEXUS TECHNOLOGIES*®

Está considerada como una de las principales constructoras en Francia, de este tipo de plantas. Comercializa el proceso *SOFTER*, para el tratamiento, mediante termólisis, de sólidos urbanos y industriales de carácter banal.

El proceso se desarrolla en un reactor horizontal fijo, que trabaja a la presión atmosférica y en ausencia de oxígeno, dentro de un rango de temperaturas de 450-500°C.

Dispone de una planta piloto de dimensión industrial, con una capacidad de tratamiento de 6000 t/a y fue seleccionada en 1998, para la realización en Digny, Eure-et-Loir (Francia), de una planta de tratamiento de sólidos urbanos por termólisis de 30000 t/a.

La planta tenía prevista su puesta en explotación en el mes de Septiembre del año 2000, aunque tratando una carga de equivalente a la mitad de su

capacidad, por defectos en el sistema de recogida adjudicado a un sindicato de la zona.

2. Empresa *SERPAC ENVIRONMENT*®

Ha desarrollado el proceso denominado *PIT – PYROFLAM*, cuya patente y licencia de comercialización cedió a la empresa *BS Engineering S.A.*

El proceso, en sí mismo, se compone de dos fases; la primera corresponde al tratamiento parcial del residuo mediante pirolisis alotérmica, que se desarrolla en un rango de temperaturas de 500°C a 600°C, en una atmósfera en depresión y pobre en oxígeno, seguida de una segunda fase de combustión a alta temperatura.

El residuo entrante en el proceso, no necesita preparación previa alguna, salvo su elevación y está especialmente diseñado para tratar, además de los convencionales sólidos urbanos y industriales de carácter banal, el tratamiento de desechos especiales tales como hospitalarios, harinas de carne, lodos de depuradora y otros.

Una de sus últimas realizaciones, ha sido la construcción de una planta para desechos hospitalarios, en Budapest, con una capacidad de tratamiento de 1,5 t/h.

3. Empresa **SIEMENS**[®]

Construye instalaciones de tratamiento de desechos, mediante un proceso de termólisis, seguido de una combustión de los productos resultantes, a muy alta temperatura, denominado PTR, que ha diseñado, puesto a punto y comercializado ella misma.

El proceso tuvo un mal inicio, ya que Siemens construyó en 1998 una planta de tratamiento de sólidos urbanos por termólisis, con una capacidad de 150.000 t/a. en Fürth (Alemania). Su explotación fue interrumpida en varias ocasiones al detectarse, en diversas partes de la instalación, una serie de disfunciones que aconsejaron su replanteo.

Sin duda, *Siemens* pretendió extrapolar, a gran escala industrial, una pequeña planta de tratamiento, que tiene en funcionamiento en Ulm, sin tener en cuenta, las características técnicas diferentes de los desechos a tratar en la planta de Furth.

En principio, el pretratamiento de los desechos antes de entrar en el horno, ignoró las características especiales de esta tecnología innovadora de *Siemens*, ya que incorporaba los tubos calefactores del residuo en el interior de este.

La presencia de chatarras, mal troceadas, provocó importantes disfunciones en el proceso, además de que el tratamiento de los sólidos procedentes de la termólisis no alcanzó rendimientos aceptables.

Esta experiencia indujo a multiplicar los análisis previos de los desechos y después de sucesivas modificaciones, la planta trata, en la actualidad,

solamente los desechos hospitalarios, difíciles de eliminar por incineración, que se generan en la zona.

El proceso, una vez puesto a punto, se compone igualmente de dos fases, la primera de ellas, correspondiente a una pirolisis alotérmica que se desarrolla a 450°C, en una atmósfera pobre en oxígeno seguida de una segunda fase de combustión a alta temperatura. Los inertes son vitrificados junto a los sólidos capturados en la salida de humos de la combustión.

En la actualidad, construye tres plantas de termólisis, de capacidad convencional menor de 50.000 t/año, en Alemania, dos en Suiza y una, tras ganar un concurso en competencia, en el Japón.

4. Empresa *THERMOSELECT*[®]

Comercializa y construye plantas de tratamiento de desechos con el proceso *THERMOSELECT* desarrollado por la misma empresa.

Es un procedimiento complejo, compuesto, en una primera fase, por un tratamiento parcial de termólisis a una temperatura de 600°C, seguido de una gasificación, incluso del coque, a 2.000°C con aportación de oxígeno y, finalmente, una fase de combustión de los gases generados en el proceso.

El proceso comporta un pretratamiento de los desechos entrantes por compactación, proceso de vitrificado de inertes y un sistema de tratamiento de efluentes gaseosos mediante lavado por “stripper”, filtrado con carbono activo y

lavado final con glicerina. Este proceso es muy utilizado en el tratamiento de los lodos procedentes de depuradora.

Dispone de planta piloto en Verbania, con una capacidad de 4,20 t/h y en la actualidad construye, además de otras diversas, una planta de tres unidades de 3 x 10 t/h en Karlsruhe (Alemania) y otra de 2 x 10 t/h en Ansbach.

5. Empresa *THIDE ENVIRONNEMENT*[®]

Comercializa y construye plantas de tratamiento de desechos por termólisis mediante el proceso *EDDITH*. El proceso se compone de una fase de tratamiento por Termólisis que se desarrolla en un reactor horizontal fijo que trabaja a la presión atmosférica y en ausencia de Oxígeno, dentro de un rango de temperaturas de 400°C a 600°C.

6. Empresa *TRAIDEC*[®]

Comercializa y construye plantas de tratamiento de desechos con el proceso DTV desarrollado por la misma empresa. Este proceso es el que emplea la empresa española RMD S.A. en la planta que actualmente construye en Ardoncino (León) y otras tres que tiene en estudio.

El proceso se compone de dos fases; la primera corresponde al tratamiento parcial del residuo mediante termólisis que se desarrolla en un rango de temperaturas de 500°C a 550°C, en una atmósfera despresurizada entre 50 y 400 mbar. y pobre en oxígeno, seguida de una segunda fase de combustión de los gases producidos.

7. Empresa RMD S.A.®

Ha desarrollado la termólisis para la recuperación integral de los neumáticos fuera de uso. El proceso consigue el reciclado del acero y el aprovechamiento energético dentro del estricto cumplimiento de las normativas ambientales europeas y americanas.

8. Empresa VON ROLL®

Comercializa y construye plantas de tratamiento de desechos con el proceso RCP desarrollado por la misma empresa. El proceso se compone de dos fases, la primera que corresponde al tratamiento parcial del residuo mediante pirolisis alotérmica, desarrollada en un rango de temperaturas de 450°C a 600°C, en una atmósfera en depresión y pobre en oxígeno seguida de una segunda fase de fusión, con inyección de oxígeno, en un rango de temperaturas entre 1.200°C y 1.500°C.

Finalmente, conviene recordar que al hablar de termólisis no se trata de una "nueva tecnología", ya que no se puede presentar como innovadora una tecnología que ya se usaba para fabricar carbón vegetal. Sin embargo es preciso señalar que la termólisis no constituye un tratamiento total de desechos sino uno parcial que genera una serie de productos valorizables.

A pesar de que en sus comienzos, a principios de la década de los noventa, algunas experiencias no fueron demasiado concluyentes, la mayoría de las actuales realizaciones en Europa, está creciendo una vez que se han establecido las capacidades óptimas de funcionamiento. En estos momentos, el mercado está creciendo, siendo el mercado asiático el más prometedor, con un

parque de 800 plantas incineradoras de pequeña capacidad próximas a ser sustituidas por plantas de termólisis.

La empresa *Thide*, con el proceso *Eddith* que comporta un reactor horizontal giratorio y Traidec especializada en desechos especiales parece que experimentan la mayor expansión, aunque no disponen todavía de plantas piloto, salvo la recientemente finalizada en Cidaut (Valladolid) para concretar sus progresos más recientes.