



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO



**AHORRO ENERGÉTICO AL INSTALAR UNA PLANTA DE
RECICLAJE DE PLÁSTICOS**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO**

PRESENTA

GUILLERMO ISRAEL MARTÍNEZ CARREÓN

TUTOR

ING. GUILLERMO LÓPEZ MONROY

SINODALES

ING. FRANCISCO LÓPEZ RIVAS

ING. JUAN MANUEL ROJAS GÓMEZ

ING. CÉSAR MAXIMILANO LÓPEZ PORTILLO ALCÉRRECA

DRA. CECILIA MARTÍN DEL CAMPO MÁRQUEZ

MÉXICO DF SEPTIEMBRE, 2008



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



Ahorro energético al instalar una planta de reciclaje de plásticos



AGRADECIMIENTOS:

A mis padres,

Gracias a su amor, apoyo y consejos he llegado a realizar una de mis más grandes metas. Gracias por darme la oportunidad de existir, por su sacrificio en algún tiempo incomprendido, por su ejemplo de superación incasable, por su comprensión y confianza, porque sin su apoyo no hubiera sido posible la culminación de mi carrera profesional. Por lo que ha sido y será... Gracias. La herencia más valiosa que recibirán mis hijos de ustedes, es haberles dado un padre profesionalista.

A mis hermanos

Siendo parte de mi vida, su presencia ha sido y será siempre el motivo más grande de mi existencia, han impulsado mis sueños para seguir adelante y lograr esta meta. Gracias Marco Antonio, gracias Ana Laura.

A mis tíos,

Les agradezco el cariño, consejos y educación que me brindaron desde niño, viéndose reflejado a través de mis estudios. Les agradezco habernos regalado días mágicos cada domingo durante 25 años. Por todo esto y más... Gracias.



Ahorro energético al instalar una planta de reciclaje de plásticos



A mi Universidad,

Como un testimonio de gratitud ilimitada, a mi amada Universidad Nacional Autónoma de México le doy las gracias por haberme aceptado desde los 12 años a través de la Escuela Nacional Preparatoria No. 2, siguiendo así hasta Ciudad Universitaria. Como muestra de gratitud llevaré en alto tu nombre, transmitiendo los conocimientos y valores que adquirí durante 14 años de mi vida.

A Rocío

Por llegar a mi vida impulsarla y darle sentido. Por ser mi inspiración, la que necesitaba para terminar mi carrera profesional, prometiéndote superación y éxitos sin fin, para devolverte el amor y apoyo brindado. Te amo

A mis maestros,

Quiero expresarles un profundo agradecimiento a quienes con su conocimiento, guía, ayuda, apoyo y comprensión me alentaron a lograr esta realidad.

A mi jurado

Por el privilegio que me dieron al aceptar ser parte de mi jurado, mostrando interés, motivación, crítica, y apoyo necesarios para la realización del presente trabajo.



Índice

	Página
Introducción.....	5
 Capítulo 1. Antecedentes	
1.1 Marco teórico.....	7
1.2 Concepto de residuo sólido.....	9
1.3 Manejo integral de los residuos sólidos.....	13
1.4 Concepto de reciclaje.....	19
1.5 Justificación de la propuesta.....	24
 Capítulo 2. Proceso mecánico en el tratamiento de los residuos sólidos plásticos	
2.1 Proceso mecánico.....	31
2.2 Planta de reciclaje de tercera generación.....	41
2.3 Características de los materiales captados.....	45
 Capítulo 3. Análisis del consumo eléctrico dentro de la planta	
3.1 Descripción de la planta.....	54
3.2 Características de la instalación.....	59
3.3 Consumo de energía dentro de la planta.....	72



Capítulo 4. Ahorro energético al reciclar los plásticos

4.1	Concepto de ahorro energético.....	74
4.2	Cuantificación de energía en la elaboración del plástico.....	77
4.3	Ahorro energético en la recuperación del plástico.....	80
4.4	Incineración de residuos sólidos.....	83
4.5	Valorización energética.....	85
4.6	Plantas de valorización energética para plásticos.....	92

Capítulo 5. Impacto ambiental

5.1	Definición de impacto ambiental.....	100
5.2	Impacto ambiental debido a los residuos sólidos municipales....	101
5.3	Impacto ambiental en la producción del plástico.....	103
5.4	Impacto ambiental en el proceso de la incineración.....	107
5.4	Calentamiento global.....	111
Conclusiones.....		112
Glosario.....		116
Apéndice A.....		124
Bibliografía.....		130



INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene como objetivo analizar el ahorro energético y el impacto ambiental que se tendrá de manera directa e indirecta en la recuperación de residuos sólidos plásticos a través de una planta de tratamiento integral de los mismos, esto se realizará en el Estado de Morelos.

Además, se pretende dar una alternativa a la disminución del volumen y peso de los residuos sólidos.

El problema del inadecuado manejo y disposición final de los residuos sólidos, en especial los residuos plásticos generados en México, han desatado conflictos a nivel estatal y municipal.

Se producen 35,383 millones de toneladas de residuos municipales anuales, siendo 2,162 millones toneladas anuales de residuos plásticos, y estos residuos son confinados a los diferentes rellenos sanitarios que existen alrededor del país.

El estudio se enfoca al Estado de Morelos cuya población aproximadamente es de 1,612,899 de habitantes, los cuales producen 1,474 toneladas de basura al día. Estos residuos son confinados en su mayoría al bordo de Xochiaca, que se encuentra ubicado en el municipio de Nezahualcóyotl, Estado de México debido a que la mayoría de los tiraderos en el Estado de Morelos son clandestinos.



Ahorro energético al instalar una planta de reciclaje de plásticos



Esto genera grandes gastos, de operación, infraestructura, además que el tiradero del bordo de Xochiaca es un tiradero a cielo abierto los cuales son un foco de infección y de todo tipo de contaminación principalmente la visual y ambiental. Con estos antecedentes se pretende instalar una planta de recuperación y procesamiento de plásticos de uso comercial e industrial, la cual captará residuos sólidos de las localidades de Puente de Ixtla, Amacuzac, Jojutla, Zacatepec, Temixco, Emiliano Zapata y Tlaquilténango, que representa la tercera parte de la población del Estado.

La instalación de ésta planta además de colaborar a solucionar la problemática que se genera al no tener espacio suficiente para su disposición dentro de los rellenos sanitarios también contribuirá a optimizar la energía logrando así un importante ahorro energético a través de la recuperación y reciclaje de los mismos, teniendo como efecto la disminución de la producción del plástico empleado en el embalaje de los productos comerciales e industriales. Por otro lado los plásticos son elaborados con derivados del petróleo, y por ende al disminuir su producción se disminuye el consumo de este combustible.

Al procesar el plástico, las fábricas que elaboran estos materiales tendrán una baja de demanda del producto, logrando así una disminución de su consumo de energía eléctrica, lo cual conllevará a que se originen menos partículas contaminantes que van directamente a la atmósfera y a los mantos acuíferos.



Capítulo 1. Antecedentes

1.1 Marco teórico

El acelerado crecimiento de la población y concentración en áreas urbanas, el aumento de la actividad industrial y el incremento en los patrones de consumo contribuyen al serio problema de la generación de los residuos sólidos. La cantidad que se generan tanto en los procesos productivos como después de la vida útil de cada producto suman enormes cantidades, los cuales se están vertiendo al ambiente y con ello contaminando el hábitat humano, poniendo en peligro su subsistencia.

En México el sector de residuos sólidos no es reconocido como sector formal y posee debilidad institucional, y operatividad deficiente, falta de planificación, carencias de sistemas de información, legislación inadecuada e ineficaz control de la aplicación de la legislación vigente, baja calificación de los recursos humanos, inexistencia de modelos de gestión y de políticas públicas para el sector. Debido al incorrecto manejo de los residuos, la baja cobertura de recolección en ciudades intermedias y pequeñas y la escasa atención a los asentamientos marginales municipales agravan el problema ambiental de México

La escasez de tierras para tiraderos y rellenos sanitarios y los costos de disposición más caros dificultan el manejo de los residuos. Se ha encontrado una alternativa útil para la disminución del volumen de los mismos en la recuperación, la reutilización y el reciclaje.

El Instituto Nacional de Ecología (INE) junto con la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales (SEMARNAT), estiman que aproximadamente el 10% de las toneladas de residuos por día del país es reciclada o reutilizada, principalmente en las grandes ciudades.



Capítulo 1. Antecedentes



Actualmente México se encuentra 20 años atrás de Estados Unidos y 30 años detrás de Europa en su capacidad de reciclado. Al reciclar plásticos se contribuye para reducir el volumen de los residuos debido a que forman una importante parte de la basura, participa con entre el 6% y el 8% de la generación total y 45% en volumen.

Los residuos plásticos provenientes de los residuos sólidos municipales se dividen a su vez en tres clases:

- Residuos plásticos de tipo simple.
- Residuos mixtos: los diferentes tipos de plásticos se hallan mezclados entre sí, como el policarbonato.
- Residuos plásticos mixtos combinados con otros residuos, como el tetra-pack.

Entre éstos, el PET (del inglés Polyethylene Terephthalate) es uno de los que más sobresale. Basta con analizar que el año 2005 se consumieron alrededor de 700 mil toneladas de PET que sólo representan el 1.5% en peso y del 7 a 10% del volumen total de los residuos en los rellenos sanitarios en México. En los vertederos de toda la República Mexicana, se estima que, en forma de botellas, existen más de 5 millones de toneladas de este plástico. Al mismo tiempo este tipo de material genera un problema en la Ciudad de México, debido a que la gente por falta de educación ambiental tira las botellas en las calles, y éstas bloquean el drenaje provocando inundaciones.



1.2 Concepto de residuo sólido

Residuo sólido es cualquier producto, materia o sustancia, resultante de la actividad humana o de la naturaleza que ya no tiene más función para la actividad que lo generó. Pueden clasificarse de acuerdo a su origen (domiciliar, industrial, comercial, institucional, público), a su composición (materia orgánica, vidrio, metal, papel, plásticos, cenizas, polvos, inerte) o de acuerdo a su peligrosidad (tóxicos, reactivos, corrosivos, radioactivos, inflamables, infecciosos). La composición de los residuos varía según diferencias económicas, culturales, climáticas y geográficas. En los países menos desarrollados los desechos sólidos contienen una mayor proporción de material orgánico biodegradable con un alto contenido de humedad y densidad comparado con los países más avanzados. Esta característica es importante para considerar algunos métodos de reducción de volúmenes, tales como la compactación de desechos, que normalmente no es apropiada en el caso de residuos con un alto contenido orgánico.

Clasificación por estado

Un residuo es definido por estado según el estado físico en que se encuentre. Existen por lo tanto tres tipos de residuos: sólidos, líquidos y gaseosos. En general un residuo también puede ser caracterizado por sus características de composición y generación.



Clasificación por origen

Se puede definir el residuo por la actividad que lo origine, esencialmente es una clasificación sectorial. De los cuales se tienen:

1. Residuos municipales. La generación de residuos municipales varía en función de factores culturales asociados a los niveles de ingreso, hábitos de consumo, desarrollo tecnológico y estándares de calidad de vida de la población.
2. Residuos 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, combustibles utilizados y los envases y embalajes del proceso.
3. Residuos mineros. Los residuos mineros incluyen los materiales que son removidos para ganar acceso a los minerales y todos los residuos provenientes de los procesos mineros. Actualmente la industria del cobre se encuentra empeñada en la implementación de un manejo apropiado de estos residuos, por lo cual se espera en un futuro próximo contar con estadísticas apropiadas.
4. Residuos hospitalarios. La composición de los residuos hospitalarios varía desde el residuo tipo residencial y comercial a residuos de tipo médico conteniendo sustancias peligrosas.



Clasificación de los residuos por su manejo

- a) Residuo peligroso: Son residuos que por su naturaleza son inherentemente peligrosos de manejar y/o disponer y pueden causar muerte, enfermedad; o que son peligrosos para la salud o el medio ambiente cuando son manejados en forma inapropiada.
- b) Residuo inerte: Residuo estable en el tiempo, el cual no producirá efectos ambientales apreciables al interactuar en el medio ambiente.
- c) Residuo no peligroso: Ninguno de los anteriores

La mayoría de los residuos sólidos que se generan en el mundo son municipales no peligrosos, los cuales abarcan un 72 % de la generación total, por lo cual el presente trabajo tratará de dar una alternativa para la reducción de estos (ver tabla 1.1).

Residuo	EUA	Europa	Argentina	México
Orgánico	29.00%	29.00%	40.30%	50.55%
Papel/Cartón	41.00%	26.00%	25.40%	14.91%
Metal	8.00%	4.00%	2.80%	3.35%
Vidrio	6.00%	7.00%	4.20%	6.39%
Otros	7.00%	25.00%	13.30%	18.69%
Plásticos	9.00%	9.00%	14.00%	6.11%

Fuente: Secretaría de medio ambiente y recursos naturales (SEMARNAT) 2002

Tabla 1.1. Composición de los residuos sólidos municipales en algunas regiones del mundo



Capítulo 1. Antecedentes



Las características físicas, químicas y biológicas de los residuos sólidos permiten orientar para la selección de alternativas técnicas de recolección, transporte, tratamiento y disposición final.

Características físicas: son la composición gravimétrica (porcentaje de cada componente presente en una muestra), el peso específico (peso de una muestra en función al volumen que ella ocupa expresado en t/m^3 o kg/cm^3), la humedad (la proporción de agua de la muestra en relación a su compactación, reducción de volumen que una masa puede sufrir cuando es sometida a una presión de $4 kg/cm^2$), la generación per cápita (cantidad de residuos generada por persona en una unidad de tiempo, la cual es variable según el poder adquisitivo, educación y hábitos de las comunidades y varía de 0.4 Kg. hasta sobre 1.5 Kg.) y características visuales que interfieren en la estética de los ambientes.

Características químicas: es el poder calorífico (la capacidad potencial de cada material en desprender calor cuando se quema, Kcal/l); el pH (potencial de hidrógeno, se utiliza como indicador de acidez), el contenido de ceniza, materia orgánica, carbono, nitrógeno, potasio, calcio, metales pesados, los residuos minerales y las grasas solubles.

Características biológicas: son los agentes microbianos (virus, bacterias y protozoarios) presentes en la basura, que bajo determinadas condiciones se tornan patógenos y causantes de enfermedades tales como hepatitis, fiebre tifoidea, malaria, fiebre amarilla y cólera, que se encuentran en la basura, condiciones ideales para proliferar. Se transmiten a las personas y animales a través de vectores como insectos y roedores. El siguiente cuadro muestra síntomas y enfermedades causadas por la contaminación.



Capítulo 1. Antecedentes



TIPO DE SUSTANCIA	SÍNTOMA/ENFERMEDAD
Bario	Efectos tóxicos en el corazón, vasos sanguíneos y nervios
Cadmio	Acumulación en el hígado, riñones y huesos
Arsénico	Toxicidad crónica o aguda (por acumulación), pérdida de energía y fatiga, cirrosis, dermatitis. Se acumula en los huesos, hígado y riñones.
Compuestos orgánicos Benceno, hidrocarburos Insecticidas policíclicos Esteres fenólicos	Cancerígenos
Cromo	Tumores de pulmón
Mercurio	Vómitos, náuseas, somnolencia, diarrea sanguinolenta, afecciones al riñón
Pesticidas organofosforados organoclorados, carbamatos, clorofenóxidos	Afecciones al cerebro y sistema nervioso
Plomo	Anemia, convulsiones, inflamaciones

Cuadro 1.1. Ejemplos de residuos peligrosos y sus efectos sobre la salud humana

1.3 Gestión integral de los residuos sólidos municipales

En la actualidad, se entiende por gestión y tratamiento de residuos el conjunto de operaciones encaminadas al aprovechamiento de los recursos materiales y energéticos contenidos en ellos o a la disposición de una forma ambientalmente segura de los mismos o de la parte de los mismos imposible de aprovechar.

Los sistemas actualmente más utilizados para el tratamiento y disposición de los residuos municipales, de forma individual o bien en instalaciones con sistemas integrados, son:



Capítulo 1. Antecedentes



- recogida selectiva en origen y reciclado directo
- plantas de selección y recuperación de materiales
- plantas de fermentación aeróbica (compostaje)
- plantas de fermentación anaeróbica
- plantas de incineración con y sin recuperación de energía
- vertedero controlado

La capacidad de producción actual y la creciente demanda han hecho de la humanidad una sociedad consumista, lo que a su vez significa una serie de empaques y embalajes que no necesariamente buscan aprovechar eficientemente los materiales y la energía. A lo largo de dichos procesos se generan grandes cantidades de residuos ya sean líquidos, sólidos o gaseosos; impactando de manera negativa al ambiente. La mayoría de estos materiales son productos derivados del petróleo y por ende no son biodegradables y se dificulta su reincorporación al ambiente, tardando hasta 500 años en degradarse (Tabla 1.2).

Restos de comida	De 1 a 3	Días
Papel higiénico	2	Semanas
Plato de cartón	1	Mes
Algodón	1 a 5	Meses
Filtro de cigarro	15 a 25	Años
Lata de aluminio	200 a 500	Años
Recipiente de plástico	300 a 500	Años
Bolsa metalizada	300 a 500	Años
Vaso de unicel	500 a 800	Años
Toalla sanitaria	500 a 800	Años
Pañal desechable	500 a 800	Años
Botella de vidrio	Más de 800	Años

Fuente: Instituto Nacional de Recicladores (INARE) 2000.

Tabla 1.2. Tiempo de degradación de algunos productos



Capítulo 1. Antecedentes



Del total de residuos recolectados formalmente, el INE reporta que el 17% es dispuesto en rellenos sanitarios, lo que significa que el resto de las toneladas se disponen diariamente en tiraderos a cielo abierto no controlados o en tiraderos clandestinos. Tal cantidad representa un grave deterioro al ambiente y por consecuencia un riesgo inminente para la salud pública.

Desde el punto de vista económico, la minimización de residuos puede generar un ahorro monetario a la sociedad al extender la vida útil de rellenos sanitarios, disminuir el uso de la materia prima con la que son fabricados, además se contribuye con la generación de empleos ya que para un gran número de personas pobres de México, la recuperación de basura es una importante fuente de ingresos. Entre éstos se encuentran trabajadores del servicio de recolección de basura que rebuscan entre los desechos recibidos en su ruta, material que pueda comercializar, trabajadores del sector informal que, introduciéndose en los tiraderos, selecciona papel, cartón, vidrio, plásticos, aluminio entre otros materiales. Este segmento de la población dedicado a la recuperación de materiales reciclables, los vende a industrias después de seleccionarlos, procesarlos y almacenarlos según las especificaciones de compra de las industrias.

El manejo de los residuos sólidos municipales, se puede definir como el conjunto articulado de acciones normativas, operativas, financieras y de planificación que una administración municipal puede desarrollar, basándose en criterios sanitarios, ambientales y económicos para recolectar, tratar y depositar los residuos sólidos de una población.

Para un manejo adecuado de residuos se deben integrar un conjunto de operaciones que mejoren la efectividad financiera, social y ambiental del almacenamiento, barrido y limpieza de áreas públicas, así como la recolección, transferencia, transporte, tratamiento, y disposición final de los mismos. Todo esto con la finalidad de minimizar las cantidades de residuos generados.



Capítulo 1. Antecedentes



El manejo adecuado de residuos sólidos debe considerar los siguientes aspectos:

- Las características físicas y el volumen de basura existente a ser manejado.
- Características urbanísticas: uso del suelo, tendencias, proyección de la población, del volumen y de las características de la basura, disponibilidad de terreno apropiado para instalaciones de tratamiento y disposición final de los residuos, educación ambiental en relación al manejo de los residuos (segregación y reutilización de desechos).
- Planificación apropiada que refleje la vida útil de los equipos mecánicos y del sistema de disposición final de los residuos.
- Características operacionales del sistema actual de manejo de residuos, su efectividad y conveniencia.
- Organización institucional, arreglos financieros y fuentes de ingresos.
- Actividades industriales presentes y futuras.
- Mercado potencial para materiales reciclables.

En México existen empresas que se dedican a recuperar, procesar y/o reciclar los residuos sólidos, pero estas empresas no logran captar una cantidad significativa de estos residuos.

Los residuos sólidos recuperados que más demanda se tiene en el mercado son:

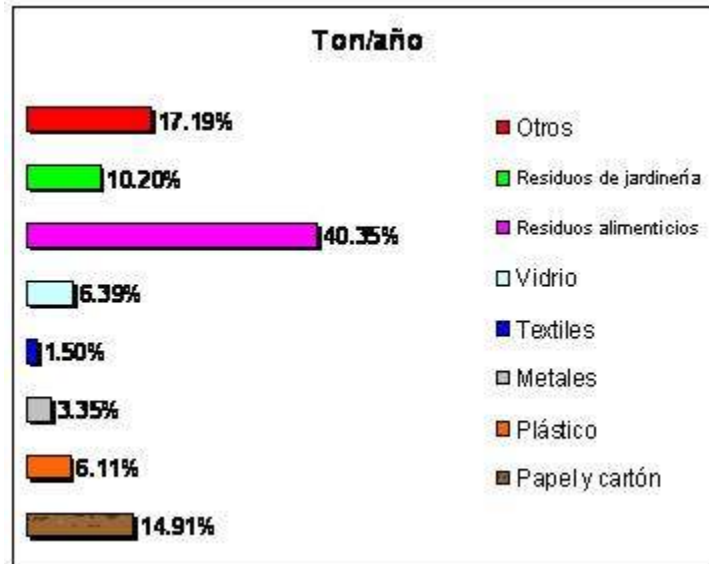
- Cartón y papel
- Metales
- Vidrio
- Textiles
- Plásticos
- Orgánicos



Capítulo 1. Antecedentes



Los Indicadores promedio de los subproductos presentes en los residuos sólidos municipales generados a nivel nacional se muestran en la gráfica 1.1:



Gráfica 1.1. Generación anual de residuos sólidos en México (SEMARNAT)

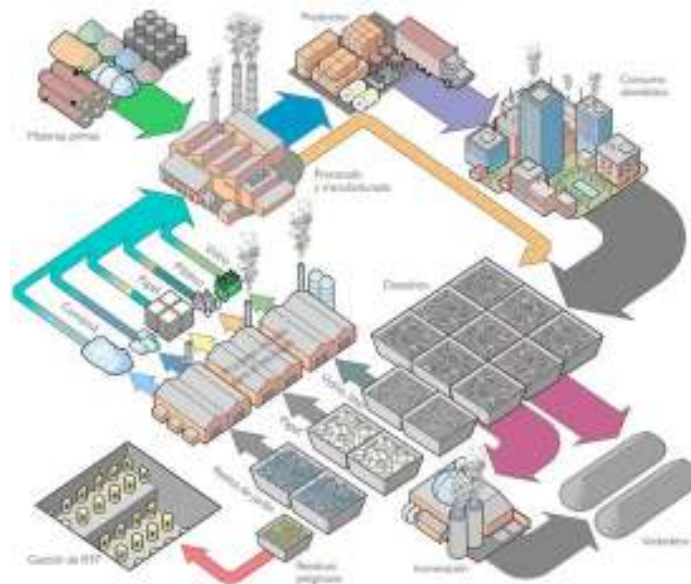


Figura 1.1. Modelo de gestión de los Residuos Sólidos Municipales RSM



Capítulo 1. Antecedentes



En México no se está siguiendo el modelo adecuado de gestión de los residuos sólidos para su recuperación y así poder tener material reciclado (Fig.1.1). El Estado de Morelos es un reflejo de la problemática que se presenta en nuestro país, es por ello que se están buscando soluciones alternativas en el reciclaje.

Los espacios y plantas de tratamiento de residuos sólidos gubernamentales no son suficientes, por citar un ejemplo, según los datos mostrados por el I.N.E en el año de 1998 sólo se recuperó el 10% del total de la basura (ver tabla 1.3) generada en el Distrito Federal.

Toneladas de subproductos recuperados en las Plantas de selección y aprovechamiento de residuos sólidos en 1998

	BORDO PONIENTE	SAN JUAN DE ARAGON	SANTA CATARINA	PORCENTAJE	TOTAL
Papel	3,088.841	12,094.850	13,087.750	16.45	28,269.44
Cartón	1,926.186	7,658.130	12,520.050	12.86	22,104.37
Plásticos	9,237.030	11,831.470	24,760.490	26.66	45,828.99
Vidrio	8,643.257	9,527.720	26,249.290	25.84	44,420.27
Metal ferroso	3,750.061	4,240.570	14,951.650	13.35	22,942.29
Metal no ferroso	90,753.00	104,020.00	0.00	0.012	194.77
Otros	2,882.410	931.560	4,324.290	4.73	8,138.26
TOTAL	29,616.538	46,388.320	95,893.520	100	171,898.38
Toneladas enviadas a plantas de selección:			1,678,807.298		
Toneladas recuperadas:			171,898.378		
Porcentaje global de recuperación:			10.239%		

Tabla 1.3. Toneladas recuperadas de residuos sólidos en las plantas de selección del área metropolitana



1.4 Concepto de reciclaje

El reciclaje es el proceso que tiene por objeto la recuperación, de forma directa o indirecta, de los componentes que contienen los residuos municipales para incorporarlos a su vida útil.

1.4.1 Reciclaje de plásticos según su clase.

1. Reciclaje Primario

El reciclaje primario consiste en la conversión del desecho plástico en artículos con propiedades físicas y químicas idénticas a las del material original. El reciclaje primario se hace con termoplásticos como PET (polietilentereftalato), HDPE (polietileno de alta densidad), LDPE (polietileno de baja densidad), PP (polipropileno), PS (poliestireno) y PVC (cloruro de polivinilo). Las propiedades de los termoplásticos son la base de este reciclaje primario debido a la habilidad de los termoplásticos de refundirse a bajas temperaturas sin ningún cambio en su estructura ya que “tienen moléculas que se encuentran en un alineamiento casi paralelo”.

Proceso de reciclaje primario

El proceso de reciclaje primario es fundamentalmente el mismo para los distintos plásticos. Consiste en la separación y limpieza.

- Separación

La separación es tan difícil que han sido desarrollados algunos sistemas automatizados, además del manual. En México y en todos los países de América Latina no tienen proceso de separación automatizado, esta separación se realiza de manera manual.



Capítulo 1. Antecedentes



Sólo por conocer citaré algunos tipos de separación automatizada:

- Máquinas foto-ópticas. Reconocen formas y transparencia.
- Máquinas que diferencian la gravedad específica,
- Difracción de rayos X
- Disolución en solventes.

- Limpieza

Los plásticos separados están generalmente contaminados con comida, papel, piedras, polvo, pegamento, es por ello que tienen que ser lavados antes o después del proceso.

2. Reciclaje secundario

El reciclaje secundario convierte al plástico en artículos con propiedades que son inferiores a las del polímero original. En este proceso se realiza una mezcla a través de la extrusión, en la cual los plásticos pasan por un tubo con una gran abertura hacia un baño de agua, y luego son cortados a varias longitudes dependiendo de las especificaciones del cliente.

3. Reciclaje Terciario

El reciclaje terciario degrada al polímero a compuestos químicos básicos y combustibles. Este tipo de reciclaje es fundamentalmente diferente de los dos primeros mencionados anteriormente porque involucra un cambio químico no sólo un cambio físico. Hoy en día, el reciclaje terciario cuenta con tres métodos principales: pirólisis, gasificación y quimiólisis. Aunque se están desarrollando otros métodos metanólisis y glicólisis.



Capítulo 1. Antecedentes



Pirolisis.

Se define a la pirolisis como un proceso de reforma en el cual la gasificación de los compuestos fácilmente degradables se hace por un calentamiento directo o indirecto. Al calentar los hidrocarburos de cadena larga en ausencia de oxígeno se rompen en pequeñas moléculas. Este mismo mecanismo puede aplicarse al cambio de plásticos a petroquímicos. Hay muchas variantes de la pirólisis: pirólisis de cauce fijo, de cauce fluido, de cauce dirigido y de cauce agitado. Entre estos, el cauce fluido ha recibido especial atención porque puede convertir una gran variedad de materiales, incluyendo plástico, aceites, en petroquímicos crudos. Los sistemas de cauce fluido, dice Ken Fouhy, “usan un gas de polímero o un gas inerte para fluidizar el cauce de arena, a temperaturas entre los 400 y 800 °C, para producir productos de petróleo líquidos”. Las ventajas de la pirolisis son: no involucra un paso de separación, b) recupera los plásticos en sus materias primas, de manera que, se pueden rehacer polímeros puros con mejores propiedades y menos contaminación para generar hidrocarburos líquidos o sólidos que pueden ser luego procesados en refinerías

Gasificación.

La gasificación tiene el mismo principio que la pirolisis: el calentamiento convierte las grandes cadenas de carbono en pequeñas cadenas, pero se lleva a cabo en condiciones más drásticas que la pirolisis (temperaturas arriba de los 900 °C y presiones arriba de los 60 bares). Este método tiene muchas variantes, entre éstas, una que ha sido aplicada por Thermostelect, S. A., está produciendo 600 kg de gas de síntesis, 220 kg de escoria, 23 kg de metales y 18 kg de sales por tonelada métrica de desecho, el cual, primero es compactado, desgasificado y pirolizado a 600 °C, y alimentado al gasificador a 2000 °C, Fouhy añade, “el gas de síntesis obtenido de la gasificación puede ser usado para producir electricidad, metanol o amoníaco”.



Capítulo 1. Antecedentes



Quimiolisis.

Este proceso se aplica a poliésteres, poliuretanos, poliacetales y poliamidas. Requiere altas cantidades separadas por tipo de resinas. Consiste en la aplicación de procesos solvolíticos como hidrólisis, glicólisis o alcoholólisis para reciclarlos y transformarlos nuevamente en sus monómeros básicos para la repolimerización en nuevos plásticos.

Metanólisis y glicólisis.

La metanólisis es la ruptura de las cadenas causada por metanol y glicólisis, la ruptura de un enlace glicosídico causada por alguna sustancia. Es de destacar que los procesos de metanólisis (con metanol) y glicólisis (con etilenglicol) eliminan impurezas de los plásticos y los compuestos obtenidos se pueden dedicar a la fabricación de artículos con restricciones de calidad como los de envasado de alimentos.

4. Reciclaje cuaternario

Consiste en el calentamiento del plástico con el objeto de usar la energía térmica liberada de este proceso para llevar a cabo otros procesos, es decir, el plástico es usado como un combustible con objeto de reciclar energía. La incineración puede incluirse en esta clasificación siempre que la recuperación de calor sea acompañada de un generador de vapor o, como Arthur J. Warner dice en su libro *Solid Management of Plastics*, por “el uso directo de gases de humo de alta temperatura en un proceso que requiera una fuente de calor externa”. Estos gases de humo son para recalentar, secar o templar hornos. Sin embargo, algunas de sus desventajas son: la generación de contaminantes gaseosos, aunque ésta es mínima.



1.4.2 Reciclaje de plásticos según su tipo

- Reciclado Mecánico. Se recicla el material post-industrial denominado scrap
- Reciclado Físico. Consiste en la separación, trituración y compactación de los materiales
- Reciclado Químico. Se realiza a través de procesos químicos como son la gasificación, quimiólisis, metanólisis, etc
- Reciclado Térmico. Ésta se realiza por medio de procesos térmicos como son la incineración y la pirolisis

El siguiente diagrama muestra el ciclo industrial del plástico



Figura 1.2. Ciclo industrial del plástico



1.5 Justificación de la propuesta

En el Estado de Morelos existe hasta el año 2006 un insuficiente e inadecuado sistema de transporte, almacenamiento intermedio, disposición final y tratamiento de residuos sólidos. Un reflejo sucedió el 25 de septiembre de 2006 en la capital del Estado.

La autoridad municipal incumplió con su obligación de garantizar el servicio de recolección de basura y colocó a miles de familias en un problema de salud. Durante 20 días, más de tres mil toneladas de basura se encontraban apiladas en los sitios donde existían contenedores colocados por el ayuntamiento, cuya capacidad fue rebasada.

Esto se debió a que un grupo de vecinos de Alpuyeca, municipio de Xochitepec, bloqueó los accesos al tiradero a cielo abierto de Tetlama, cansados de los efectos negativos que por más de 30 años había causado el confinamiento irregular de los desechos en aquella comunidad, muy cerca de sus viviendas.



Imagen 1.1. Tiraderos a cielo abierto en Morelos



Capítulo 1. Antecedentes



Hasta la fecha se tienen censados los siguientes tiraderos fuera de las normas mexicanas y por ende de las normas internacionales dentro del Estado de Morelos: Emiliano Zapata, Tepalcingo, Tlaltizapán, Huitzilac, Temixco, Jiutepec, Tetlama, Cuautla y Yautepec. Existen alrededor de 25 tiraderos a cielo abierto distribuidos en los poblados mencionados, los cuales se encuentran ubicados en lugares inapropiados y donde se generan problemas ambientales (ver Imagen 1.1).

Las causas directas e indirectas que originan este problema son las siguientes:

Causa Directa 1:

Limitada gestión del Estado en la planificación e implementación de un sistema de transferencia y tratamiento de residuos sólidos.

Las causas indirectas relacionadas a la causa directa 1 son:

- a) Elevados costos operativos del servicio de limpieza público.
- b) Insuficientes recursos para la construcción e implementación de un sistema de transferencia y tratamiento de residuos sólidos, así como para incrementar la flota vehicular encargada de la recolección de los residuos.
- c) Escasa coordinación con instituciones enfocadas al reciclaje para un proyecto integral de transferencia y tratamiento de residuos sólidos



Capítulo 1. Antecedentes



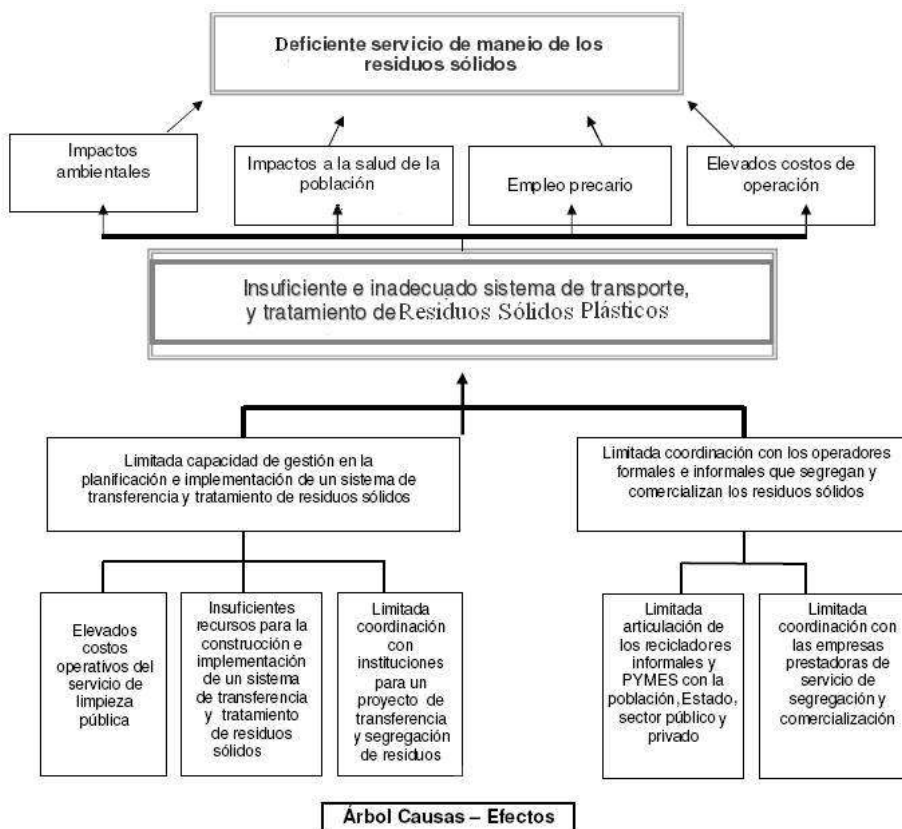
Causa Directa 2:

Limitada coordinación con los operadores formales e informales que separan y comercializan los residuos sólidos.

Las causas indirectas relacionadas a la causa directa 2 son:

- a. Limitada articulación de micro y pequeñas empresas dedicadas a la recuperación de residuos sólidos con la población, el Estado, sector público y privado.
- b. Limitada coordinación con las empresas de servicio y comercialización.

A continuación se muestra el diagrama de árbol del deficiente manejo de los residuos sólidos





Capítulo 1. Antecedentes



En el año 2000 se tiene estimado que dentro del Estado de Morelos se generaron aproximadamente 538,000 toneladas de basura, si se sabe que el total de la población para ese año es de 1, 612,899 personas, se puede calcular la generación aproximada diaria. Los resultados se muestran a continuación:

Estado de Morelos		Residuos sólidos (Kg)
Generación anual	Total	538,000,000
	Per capita	334
Generación diaria	Total	1,473,973
	Per capita	0.913865408
Generación diaria de plásticos	Total	103,178
	Per capita	0.063970579

Tabla 1.4. Generación de residuos sólidos en el Estado de Morelos

El Estado de Morelos se encuentra con un índice relativamente bajo 0.913866 Kg/hab/día, pero estas cifras no son alentadoras, la mayoría de estos residuos se encuentran en tiraderos a cielo abierto, cuencas, ríos, (ver tabla 1.5).

Localidad	1997	Proyección al 2010
Cancún, Q.R.	1.49	1.85
Distrito Federal	1.34	1.74
Monterrey, N. L.	1.27	1.64
Mérida, Yuc.	1.27	1.64
Manzanillo, Col.	1.25	1.56

Fuente: Secretaría de medio ambiente y recursos naturales (SEMARNAT) 2002

Tabla 1.5. Localidades que presentan la mayor generación *per capita* (kg/hab/día)



Capítulo 1. Antecedentes



Es por este motivo que se requiere tomar acciones para contribuir a la disminución de residuos sólidos dentro del Estado de Morelos. Lo que se propone es instalar como primera etapa una planta de reciclaje de plásticos del tipo 2 con un proceso de reciclaje físico.

La planta beneficia a los municipios que se enumeran a continuación y están delimitados en la imagen 2:

1. Puente de Ixtla
2. Amacuzac
3. Jojutla
4. Zacatepec
5. Temixco
6. Emiliano Zapata
7. Tlaquiltlenango



Imagen 1.2. Mapa del Estado de Morelos



Capítulo 1. Antecedentes

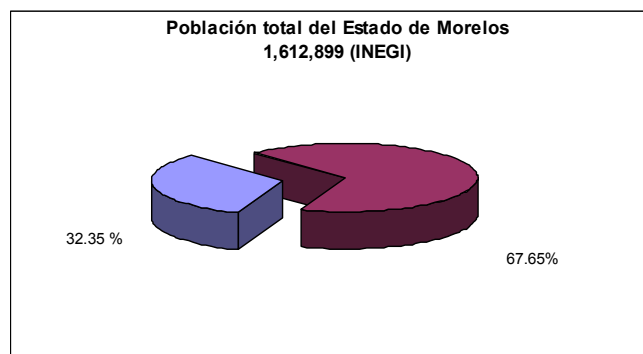


Para determinar el número de habitantes de estos municipios y su generación de residuos sólidos per cápita diaria se tomó la población estimada del Estado de Morelos hasta el año 2005 que es de 1, 612,899 de habitantes. ^{INEGI}

Población	Habitantes	Generación diaria de residuos sólidos (Kg)	
		Total	Plásticos
Amacuzac	187,825	171,646.77	12,015
Zapata	62,482	57,100.14	3,997
Tlaquiltenango	30,017	27,431.50	1,920
Temixco	99,967	91,356.38	6,395
Jojutla de Juárez	53,288	48,698.06	3,409
Puente de Ixtla	55,000	50,262.60	3,518
Zacatepec	33,331	30,460.05	2,132
Total	521,910	476,955.50	33,386.88

Tabla 1.6. Generación diaria de residuos sólidos per cápita de los municipios beneficiados

La población que se vería beneficiada con la instalación de la planta de reciclaje representa el 32.35% de la población total del Estado.



Gráfica 1.2. Población del Estado de Morelos



Capítulo 1. Antecedentes



Se dividirá el proyecto de la planta de tratamiento en 3 etapas.

Primera etapa

1. Elaboración de un plan de negocios con la finalidad de entregarlo a las autoridades correspondientes para que sea revisado y así sea factible la construcción de la planta.
2. Renta o compra de un terreno con las dimensiones necesarias para la instalación y operación de la maquinaria ya adquirida.
3. Automatización del proceso para así hacer un sistema altamente eficiente. Además de incrementar en un 40% su capacidad instalada para procesar un mayor número de toneladas de plástico

Segunda etapa

Se buscará incrementar la planta en un 100% de su capacidad ya instalada y adquirir la maquinaria necesaria para llegar a una planta de tercera generación, con la finalidad de obtener un producto terminado de mayor calidad (Ver capítulo 2).

Tercera Etapa

Es posible recuperar energía y obtener combustible en el reciclaje del plástico, es por ello que se ampliará la planta anexando al proceso la maquinaria necesaria para efectuar la valorización energética (ver capítulo 5).



Capítulo 2. Proceso mecánico en el tratamiento de los residuos sólidos plásticos

2.1 Proceso mecánico

Teniendo un adecuado proceso de tratamiento mecánico de los residuos plásticos de uso comercial es posible minimizar el volumen y peso de los residuos para resolver el problema global de los mismos.

El proceso a seguir se enlista en el siguiente orden:

- I. Recolección de los residuos
- II. Traslado a la planta de tratamiento de residuos sólidos plásticos
- III. Clasificación de los residuos
- IV. Compactación de los residuos plásticos

El proceso mecánico completo será exclusivo para el tratamiento del PET, esto debido a que ninguno de los diferentes plásticos alcanza el valor comercial del PET.

El proceso consiste en:

- V. Recorte del material a través de Guillotina/Tijeras
- VI. Transporte del material a través de bandas transportadoras
- VII. Molienda y lavado del material
- VIII. Separación de los flakes de PE/PP
- IX. Pos-lavado y secado del material procesado
- X. Comercialización



Descripción del proceso

I. Recolección de los residuos

La recolección es la etapa más importante en términos de costos dentro de la gestión de los residuos. Se realiza en general a través de cuadrillas de hombres con equipos de recolección de características especiales. El lugar donde se realiza está recolección es en tiraderos donde los pepenadores lo seleccionan y separan, en centros de acopio y/o en centros de transferencia.

II. Traslado a planta de tratamiento de residuos sólidos plásticos.

El traslado de la planta se hace a través de camiones especiales (ver fig. 2.1) los cuales hacen recorridos por los diferentes puntos de recolección.



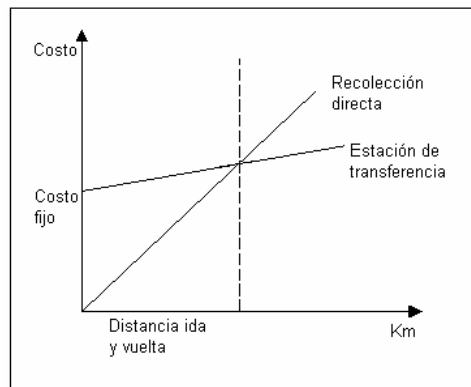
Fig. 2.1 Camión especial para plásticos recuperados



Capítulo 2. Proceso mecánico en el tratamiento de los residuos sólidos plásticos



Algo muy importante que se debe tomar en cuenta es el costo de operación, el cual se debe de estandarizar, no sería redituable hacer recorridos dentro los municipios recolectando menos de 100 Kg. por cada kilómetro, esto se muestra en la gráfica 2.1 (kilómetro recorrido contra costo de operación).



Gráfica 2.1. Comparación recolección directa y estación de transferencia

Expresado el costo en términos de dinero/peso/distancia se tienen lo siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Recolección directa} &= C_1 \bullet D \\ \text{Estación de transferencia} &= C_2 \bullet D + K \end{aligned}$$

donde:

C_1 y C_2 son constantes de la $\frac{\$}{\text{ton} \bullet \text{km}}$ forma

D es la distancia en kilómetros $\text{ton} \bullet \text{km}$

K constante equivalente al costo fijo



Capítulo 2. Proceso mecánico en el tratamiento de los residuos sólidos plásticos



III. Clasificación de los residuos

Luego del traslado y recepción del material en la planta, se efectúa la separación manual de los plásticos que tienen valor comercial después de ser procesados, esto se realiza por tipo de plástico y color. Si bien esto se hace manualmente, se han desarrollado tecnologías de clasificación automática, que se están utilizando en países desarrollados. Se debe tener mucho cuidado en el tipo de plástico, ya que una mala separación ocasionaría que el producto terminado sea de baja calidad o quedara inservible.



Imagen 2.1. Productos realizados con los diferentes tipos de plásticos



IV. Compactación de los residuos plásticos

El prensado se realizará con la finalidad de disminuir el volumen de los plásticos que no tendrán el proceso mecánico completo, esto es para darle un valor agregado más al plástico para así lograr una utilidad mayor y una comercialización más fácil.



v. Recorte del material

Después de seleccionar el plástico que será procesado, en este caso el PET, éste se introduce a la Guillotina o Tijeras. Este proceso es idóneo para precortar el material plástico sin destruir su estructura química.

La máquina es controlada por un PLC, la velocidad de cortar es ajustable. El cuchillo es mantenido en posición exactamente horizontal por medio de dos guías con ruedas dentadas (piñones), en las columnas de la Guillotina la fuerza es aplicada por un pistón hidráulico central.



Guillotina



Capítulo 2. Proceso mecánico en el tratamiento de los residuos sólidos plásticos



VI. Transporte del material a través de bandas transportadoras

a. Banda ascendente

Utilizada para transportar el material. Diseñada en estructura de acero, paredes laterales de acero y su banda es de PVC contra-deslizante



b. Tambor girador

El tambor girador selecciona el material pretriturado y elimina pedazos y piedras





c. Banda de selección horizontal



**Banda horizontal de selección
Vista de abajo**



**Banda horizontal de selección
Vista de perfil**

VII. Molienda y lavado del material

La maquina de trituración y lavado es alimentada por medio de una cinta ascendente. La maquina machaca el material al tamaño de flakes, no importa que el material quede junto, la fricción mutua de los flakes junto con la acción del agua lava y limpia el material. Las etiquetas de papel son reducidas a fibras y se eliminan con el agua de enjuagar. Los flakes son descargados a la tolva destinada.



Máquina de molienda y lavado



VIII. Separación de los flakes de PE/PP

A continuación un caracol con drenaje (ver Fig. I) transporta el material hacia la pila de decantación y lavado(Fig. II), donde se eliminan las etiquetas y las tapas de PE/PP. Para el agua de circulación y de la pila es necesario instalar una planta de tratamiento de aguas o en su defecto adquirir agua tratada.



Fig. I Caracol con drenaje con circuito de agua separado



Fig. II Tina de Flotación



IX. Pos-lavado y secado del material procesado

Los flakes son transportados por medio de un caracol de drenaje hacia la secadora centrífuga, A partir de la centrífuga los flakes se desplazan por medio de un sistema de transporte neumático, hasta su depósito final.



Fig. III Centrífuga dinámica con transporte neumático

X. Comercialización.

Para obtener el rendimiento económico del reciclaje es necesario un producto final, dependiendo de la tecnología que se aplique al final del proceso, el material puede ser ofertado en forma de pacas, flakes, granulado o gibbs, a un precio muy competitivo respecto al mercado del material virgen.



Material compactado



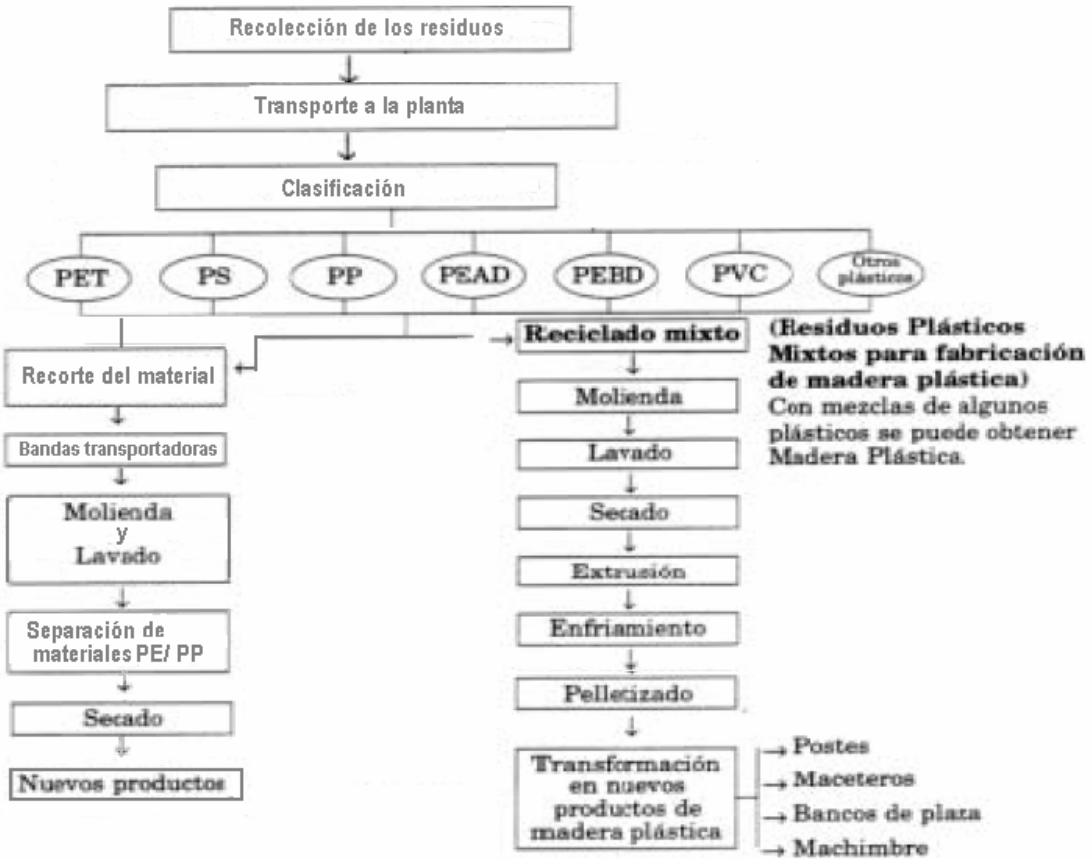
Material Molido



Capítulo 2. Proceso mecánico en el tratamiento de los residuos sólidos plásticos



El siguiente diagrama de árbol muestra en resumen el proceso mencionado





2.2 Planta de reciclaje de tercera generación

El proceso que se realiza en este tipo de plantas es concebido según los criterios siguientes:

- Calidad óptima del producto intermedio (material densificado) para obtener un producto de primera clase
- Productividad máxima y consumación mínima de energía
- Automatización en cualquier sentido

Para finalizar la primera etapa del proyecto se debe construir una planta de tercera generación para el tratamiento del PET con el objetivo de mejorar el producto final, dejándolo listo para su pos-consumo inmediato.

Estos componentes se enlistan a continuación:

- i. Silo para almacenaje para películas y flakes
- ii. Cinta con células para sopesar
- iii. Densificador
- iv. Sistema de purificación de vapor
- v. Extrusoras
- vi. Silos mezcladoras y de almacenaje
- vii. Sistema automático de densificación



i. Silo para almacenaje para películas y flakes

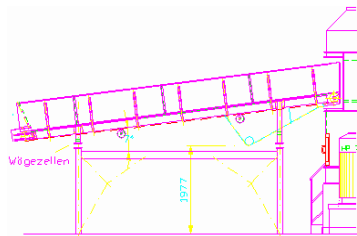
Silo con cinta de fondo para flakes y películas machacadas secas



Silo cerrado

ii. Banda con Células para Sospesar

La banda de sopesar es parte integral del sistema automático.



iii. Densificador

El densificador elabora el material en lotes. Las cuchillas del rotor trituran el material y lo inducen por abajo del rotor, esto es sólo por la forma de los filos de las cuchillas. La fricción calienta el material hasta la temperatura necesaria para la densificación. A esta temperatura el material obtiene una alta viscosidad. En este momento el agua fría que se encuentra dentro de la cámara de proceso densifica el material.



Capítulo 2. Proceso mecánico en el tratamiento de los residuos sólidos plásticos



Densificador



Lavado Vapor

iv. Sistema de purificación de vapor

El sistema de purificación a vapor es un importante subsistema para el control ambiental.

La tolva de aspiración es colocada por encima del bote de proceso del densificador. La tolva aspira el vapor del proceso y lo conduce por medio de un potente ventilador hacia la columna de condensación, que normalmente se coloca por afuera de la planta.



Tolva aspiración



Condensadora



v. Extrusoras

Esta maquinaria tiene la cualidad de hacer una plastificación homogénea. Las hélices son de un diseño especial para obtener una máxima de plastificación. La fuerza del motor va de 250 a 400 kW. Se puede utilizar alimentación forzada.



Extrusora

vi. Silos mezcladoras y de almacenaje

Los silos mezcladores y de almacenaje de Costarelli® tienen una capacidad que varía de 1,000 hasta 30,000 Litros. Tienen puertas de inspección y cubiertas conectadas a bombas de vacío. La descompresión y los dispositivos de ventilación de servicio son a través de una válvula neumática.



Silo mezclador



Capítulo 2. Proceso mecánico en el tratamiento de los residuos sólidos plásticos



A continuación se muestra como quedaría la distribución de la planta:



Planta de tercera generación

2.3 Características de los materiales captados

El plástico es un material artificial versátil, para su síntesis se utiliza gas natural o petróleo crudo. El valor del plástico en la economía mundial depende de sus propiedades fisicoquímicas distintas a materiales naturales: elasticidad, maleabilidad, resistencia química y mecánica, impermeabilidad, resistencia a la corrosión, ductilidad, etc. Su manejo requiere de tecnología para su síntesis, reciclaje y disposición final.



Capítulo 2. Proceso mecánico en el tratamiento de los residuos sólidos plásticos



Los plásticos comerciales de interés en esta revisión, se clasifican del número 1 al 7, indicado en la parte inferior del objeto, permite identificar y separar plásticos y maximiza el número de veces que se reciclan, como se indica por el código mostrado en el cuadro.

Esta clasificación de la Sociedad de Industrias del Plástico (SPI, por sus siglas en inglés) es universal. En general, la calidad de un plástico disminuye al combinarlo con otro.

Número	Abreviatura	Nombre químico	Veces que se puede reciclar
1	PET, PETE	Polietileno tereftalato	Hasta 7 veces
2	HDPE, PEAD	Polietileno de alta densidad	Moderadamente los incoloros
3	PVC	Cloruro de polivinilo	Hasta 2 veces, con problemas
4	LDPE, PEBD	Polietileno de baja densidad	Hasta 2 veces
5	PP	Polipropileno	Hasta 2 veces
6	PS	Poliestireno	Hasta 2 veces
7	otro		Raramente reciclado Muy costoso en algunos casos.

Fuente: Society of Plastic Industries.



Capítulo 2. Proceso mecánico en el tratamiento de los residuos sólidos plásticos



PET

Su producción implica muchos pasos, por lo tanto el empleo de energía es más elevado que para otros plásticos. El PET se hace combinando el ácido tereftálico y el etilenglicol.

Está hecho de petróleo crudo, gas y aire. Un kilo de PET está compuesto por 64% de petróleo, 23% de derivados líquidos del gas natural y 13% de aire.

A partir del petróleo crudo, se extrae el paraxileno y se oxida con el aire para dar ácido tereftálico.

Como los envases de PET no contienen halógenos, azufre o nitrógeno, los productos de la combustión completa son compuestos que contienen hidrógeno, oxígeno y carbono.

En su forma básica, el PET está compuesto de carbono, hidrógeno, y oxígeno. El PET no contiene halógenos (cloro o bromo), sulfuro, o nitrógeno.

La mayoría de los envases de PET no requieren aditivos tales como estabilizadores, plastificantes o anti-oxidantes.

Usos y aplicaciones:

Envases de gaseosas - Aceites - Agua mineral - Frascos para mayonesa - Salsa -
Fibras textiles - Cintas de vídeo y audio - etc.

Ventajas y beneficios:

Barrera a los gases - Transparente - Irrompible - Liviano - No tóxico.



Capítulo 2. Proceso mecánico en el tratamiento de los residuos sólidos plásticos



PEAD, PEBD

Las poliolefinas: PEAD, y PEBD son versátiles y baratas, se emplean para remplazar el mayor número de aplicaciones del PVC. Se fabrican con etileno y propileno, altamente inflamables y explosivos, pero con un mínimo impacto ambiental.

Usos y aplicaciones del PEAD:

Envases para detergentes - Lavandina - Aceites automotor - Lácteos - Cajones - Baldes - Tambores - Caños para agua potable, gas, telefonía, minería y uso sanitario - Bolsas para supermercados - Bazar y menaje y muchas más.

Ventajas y beneficios del PEAD:

Resistente a las bajas temperaturas - Irrompible - Impermeable - No tóxico.

Usos y aplicaciones del PEBD:

Bolsas de todo tipo - Envasamiento automático de alimentos - Bolsas para sueros - Tubos y pomos para cosméticos, medicamentos y otras industrias - tuberías para riego.

Ventajas y beneficios del LDPE:

No tóxico - Flexible - Liviano - Impermeable - Económico - Transparente.



Capítulo 2. Proceso mecánico en el tratamiento de los residuos sólidos plásticos



PVC

El PVC (policloruro de vinilo) está compuesto de los siguientes elementos sencillos: cloro (derivado de la sal común) en un 57 % y etileno (derivado del petróleo) en un 43%.

El compuesto resultante, dicloro etano, se convierte a altas temperaturas en el gas cloruro de vinilo (CVM). A través de una reacción química conocida como polimerización, el CVM se transforma en un polvo blanco, fino y químicamente inerte: la resina de PVC. Su reciclaje es difícil y su incineración produce dioxinas cancerígenas.

Usos y aplicaciones:

Envases para agua mineral - Aceites - jugos - Mayonesas - Perfiles para marcos de puertas, ventanas - Caños para desagües domiciliarios y de redes - Mangueras - Blisters - Catéteres - Bolsas para sangre y muchas más.

Ventajas y beneficios:

Ignífugo - Resistente a la intemperie - No tóxico - Impermeable - Irrompible.



Capítulo 2. Proceso mecánico en el tratamiento de los residuos sólidos plásticos



PP

Los procesos más modernos de producción de PP carecen de efluentes líquidos o gaseosos. Al estar constituido en un 99% por carbono e hidrógeno, elementos inocuos y abundantes en la naturaleza, este plástico resulta no contaminante químicamente. El PP contiene energía comparable con los combustibles fósiles, de ahí que los residuos de PP constituyen una excelente alternativa para ser usados como combustible para producir energía eléctrica y calor.

Usos y aplicaciones:

Películas/film para diferentes envases, cigarrillos, chicles, golosinas - Jeringas descartables - Tapas en general - Fibras para tapicería - Alfombras - Cajas de baterías - Paragolpes - Autopartes - Caños para agua caliente.

Ventajas y beneficios:

Resistente a la temperatura - Barrera a los aromas - No tóxico - Irrompible.



Capítulo 2. Proceso mecánico en el tratamiento de los residuos sólidos plásticos



PS

Mientras la producción de poliestireno (PS) involucra el uso de sustancias cancerígenas como el benceno, y otras que se sospechan cancerígenas como el estireno y 1,3-butadieno, este plástico requiere de mucho menos aditivos que el PVC. Durante su quema se libera una vez más estireno y algunos hidrocarburos tóxicos, generándose cloruro de hidrógeno y dioxinas. Técnicamente el PS, se recicla pero el porcentaje de recuperación es bajo.

(PC) y los biopolímeros.

Usos y aplicaciones:

Botes para lácteos, helados, dulces - bandejas de supermercados y rotiseria - Heladeras - contrapuestas y anaqueles - máquinas de afeitar descartables - Platos, cubiertos - juguetes - Cassettes - aislantes.

Ventajas y beneficios:

No tóxico - Transparente - Irrompible - Fácil limpieza.



Capítulo 2. Proceso mecánico en el tratamiento de los residuos sólidos plásticos



PU

El Poliuretano (PU) se usa como aislante, su síntesis consume 11% de la producción mundial de cloro y libera subproductos tóxicos: fosgeno, isocianatos, tolueno, diaminas y clorofluorocarbonos (CFC's), es altamente tóxico. Enterrar espumas de PU produce lixiviados.



ABS

El Acrilonitrilo-Butadienestireno (ABS) es un plástico duro, su síntesis requiere butadieno, estireno y acrilonitrilo, es muy tóxico. Debido a su compleja composición química su reciclaje es difícil.

Usos y aplicaciones

Tuberías - defensas de automóviles – juguetes



PC

Las materias primas del Policarbonato (PC) son compuestos clorados: fosgeno y otros compuestos clorados aromáticos. Los compuestos aromáticos provienen del crudo; el cloro y el hidróxido sódico provienen de la sal. La polimerización se realiza mediante el desdoblamiento del cloro por el hidróxido sódico. El producto final ya no tiene cloro. El PC tiene una gran resistencia a la temperatura y a los impactos.

Usos y aplicaciones

Chasis de CDs y Vds., computadoras-Garrafrones para agua



Capítulo 2. Proceso mecánico en el tratamiento de los residuos sólidos plásticos



Tetra-Pack

El Tetra-Pack es un tipo de plástico, fabricado con finas capas de celulosa, aluminio y plástico (polietileno). Para su elaboración se requieren materias primas no renovables de por sí muy impactantes y consumidores de energía: el aluminio y el petróleo. A esto tenemos que añadir que para elaborarlo, la pasta de celulosa viaja desde Escandinava y la bauxita desde Brasil. Miles y miles de kilómetros de derroche energético y contaminación.

Usos y aplicaciones

Envases de jugos, leche, comida.

Existen mas mezclas de plásticos, las cuales resulta casi imposible su recuperación para procesarse de manera mecánica.



Capítulo 3. Análisis del consumo eléctrico dentro de la planta

3.1 Descripción de la planta

Localización

La planta se ubica en el municipio de Emiliano Zapata, a 10 Km del municipio de Cuernavaca, es uno de los 33 municipios del estado de Morelos, se ubica geográficamente al norte $18^{\circ} 52'$ al sur, $18^{\circ} 44'$ de latitud norte; al este $99^{\circ} 09'$, al oeste $99^{\circ} 13'$ de longitud oeste.

Colinda al norte con los municipios de Temixco y Jiutepec; al este con Jiutepec, Yautepec y Tlaltizapán; al sur con Tlaltizapán y Xochitepec; al oeste con Xochitepec y Temixco.



- Superficie terreno:

1,500 m². Localizado en el municipio de Emiliano Zapata



El diseño de la planta está basado en una arquitectura sustentable, la cual intenta reducir al mínimo las consecuencias negativas para el medio ambiente; realzando eficacia y moderación en el uso de materiales de construcción, del consumo de energía, del espacio construido manteniendo el confort higrotérmico (ausencia de malestar térmico).

- Áreas dentro de la planta

Área operativa	Área de servicios	Infraestructura
Control ingreso y egreso	Lavado de máquinas y equipos	Almacén de agua potable y tratada
Estacionamiento	Depósito de residuos	Instalación eléctrica
Playón disposición final	Mantenimiento	Sistema de CCTV
Patio de separación de residuos	Baños, regaderas	Barreras de control
Planta	Comedor	Sistema de ventilación
Administración		Sistema contra incendio

Tabla 3.1. Distribución de las áreas de la planta



- Obra civil

Oficinas: 56m²

Baños con vestuarios: superficie cubierta: 18m²

Baños sin vestuario: 9m²

Patio de clasificación: Sup. Cubierta 400 m²

Nave de maquinaria: Sup. Cubierta 300 m²

Comedor: 20m²

Estacionamiento: 150m²

Provisión de agua: un tanque de reserva con 1,000 litros de capacidad.

Provisión de agua tratada: un tanque de reserva con 700 litros de capacidad.

Provisión de energía eléctrica e iluminación: de red, iluminación del predio y de cada una de las obras, un tablero central.

Drenajes y desagües: cañería metálica.

- Equipamiento complementario en la planta de clasificación

Se complementa con:

Tres montacargas y una báscula de piso (balanza electrónica digital con capacidad para 5 toneladas).

- Equipamiento en oficinas

Cinco computadoras

Aire acondicionado de confort tipo Minisplit de 12 toneladas

Módulo con scanner, impresora, fax y fotocopiadora

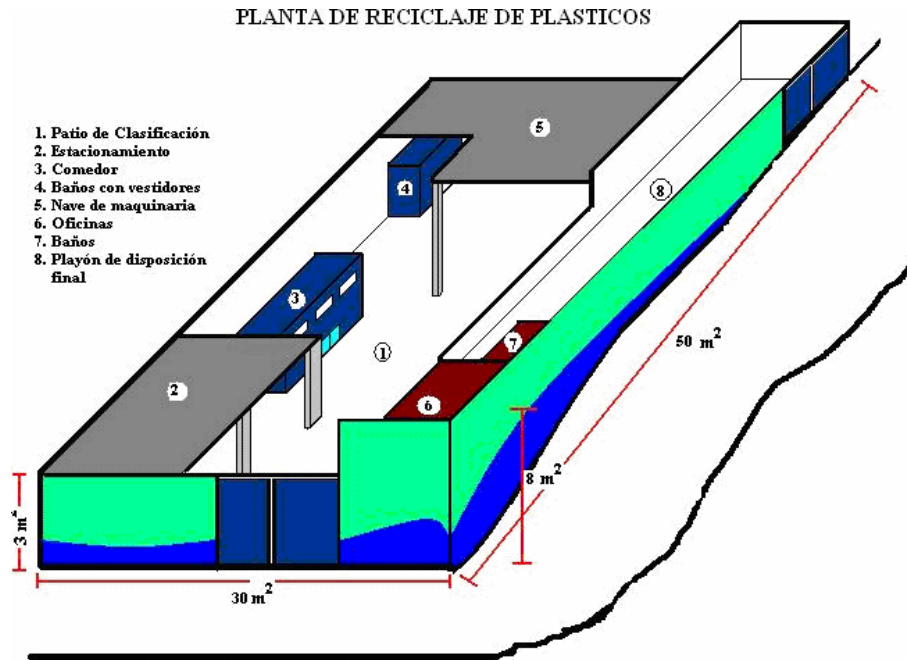


Figura 3.1 Planta de tratamiento de plásticos

Maquinaria necesaria a instalar

La planta de recuperación de residuos sólidos plásticos en la actualidad cuenta con dos líneas de producción, con la siguiente maquinaria:

- Embaladora – compactadota
- Guillotina P-100
- Sistema de Lavado y Trituración
- Secador rotatorio de flujo constante
- Bandas transportadoras



En la primera línea es necesario tener instalado el siguiente equipamiento.

1. Guillotina P-100
2. Sistema de Lavado y Trituración
3. Secador rotatorio de flujo constante
4. Bandas ascendentes y horizontales transportadoras

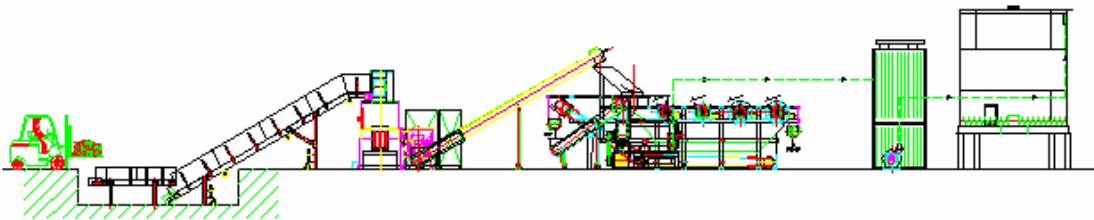


Figura 3.2. Diagrama de la primer línea de producción

Para la segunda línea de producción se necesitará instalar:

1. Compactadoras
2. Bandas transportadoras horizontales.

Sumando las dos líneas de producción podremos obtener la capacidad máxima instalada dentro de la planta, la cual se muestra a continuación:

Maquinaria	Rendimiento Total Kg/h	Horas	Producción diaria [Kg]	Producción semanal [KG]	
				Lun a Vie	Sab
Embaladora – compactadota	750	12	9000	45000	22500
Sistema de Lavado y Trituración	2000	12	24000	120000	60000

Tabla 3.2 Capacidad máxima instalada



3.2 Características de la instalación eléctrica

Se le llama instalación eléctrica al conjunto de elementos que permiten transportar y distribuir la energía eléctrica, desde el punto de suministro hasta los equipos que la utilicen. Entre estos elementos se incluyen: tableros, interruptores, transformadores, bancos de capacitores, dispositivos, sensores, dispositivos de control local o remoto, cables, conexiones, contactos, canalizaciones, y soportes.

Algunas de las características que debe poseer la instalación son:

- a) Eficiente, es decir, que la energía se transmita con la mayor eficiencia posible.
- b) Económica, o sea que su costo final sea adecuado a las necesidades a satisfacer.
- c) Flexible, es decir que sea susceptible de ampliarse, disminuirse o modificarse con facilidad, y según las posibles necesidades futuras.
- d) Simple, que facilite la operación y el mantenimiento sin tener que recurrir a métodos o personas altamente calificados.
- e) Segura, o sea que garantice la seguridad de las personas y propiedades durante su operación común.



Elementos que constituyen a la instalación eléctrica.

1. Acometida.
2. Equipos de Medición.
3. Interruptores.
4. Arrancador.
5. Transformador.
6. Tableros
7. Motores y Equipos Accionados por Motores.
8. Estaciones o puntos de Control.
9. Salidas para alumbrado y contactos.
10. Plantas de Emergencia.
11. Tierra o neutro en una Instalación Eléctrica.

Distribución de los centros de carga

1º Centro de carga

En este centro de carga hay una carga igual a 8000 W dividida en 4 circuitos derivados. Es por esto que este centro de carga será alimentado por un sistema trifásico a 4 hilos (3Φ-4h) para puras cargas monofásicas

Calculando la corriente en el centro de carga N° 1

$$\begin{aligned} I_{CT1} &= (W \cdot F_U) / (3 \cdot V \cdot F_p) \\ &= (8000 \times 0.7) / (3 \times 127 \times 0.85) \\ &= 17.29 \text{ [A]} \end{aligned}$$



Donde:

Ic = Corriente corregida

W = Carga total

V = Tensión entre Fase y Neutro (127 V)

Fp= Factor de potencia

FU= Factor de demanda

Se considera un Factor de potencia $F_p = \cos 0.85$ y un Factor de Utilización o demanda $F_U = 0.7$

Circuito derivado N° 1

En este circuito contempla la iluminación de los baños, lámparas estacionamiento y enchufes, con una carga de 2120 w

$$\begin{aligned} I_{c1} &= (W \cdot F_U) / (V \cdot F_p) \\ &= (2120 \text{ [W]} \times 0.7) / (127 \text{ [V]} \times 0.85) \\ &= 13.74 \text{ [A]} \end{aligned}$$

Circuito derivado N° 2

En este circuito contempla el alumbrado de la entrada, playón, enchufes y área de maquinaria, con una carga de 2418 W

$$\begin{aligned} I_{c2} &= (W \cdot F_U) / (V \cdot F_p) \\ &= (2418 \text{ [W]} \times 0.7) / (127 \text{ [V]} \times 0.85) \\ &= 15.67 \text{ [A]} \end{aligned}$$



Circuito derivado N° 3

En este circuito contempla el alumbrado exterior, del playón de disposición final, iluminación y enchufes con una carga de 2411 w

$$\begin{aligned} I_{c_3} &= (W*FU) / (V*Fp) \\ &= (2411[W] \times 0.7) / (127 [V] \times 0.85) \\ &= 15.63 [A] \end{aligned}$$

Circuito derivado N° 4

En este circuito se contempla el alumbrado exterior con una carga de 1000 W

$$\begin{aligned} I_{c_4} &= (W*FU) / (V*Fp) \\ &= (1000 [W] \times 0.7) / (127 [V] \times 0.85) \\ &= 6.48 [A] \end{aligned}$$

2° Centro de carga

Para el segundo centro de carga se tienen 5500 W dividido en 3 circuitos derivados. Es por esto que este centro de carga será alimentado por un sistema trifásico a 4 hilos (3Φ-4h) para puras cargas monofásicas.

$$\begin{aligned} I_{c_{T2}} &= (W*FU) / (3 *V*Fp) \\ &= (5300 [W] \times 0.7) / (3 \times 127 [V] \times 0.85) \\ &= 11.45 [A] \end{aligned}$$

Circuito derivado N° 4

En este circuito contempla la línea que alimentará los consumos de iluminación de las oficinas para una carga de 500 W

$$I_{c4} = (W \cdot F_U) / (V \cdot F_p)$$

$$= (500 [W] \times 0.7) / (127 [V] \times 0.85) = 1.08 [A]$$



Capítulo 3. Análisis del consumo eléctrico dentro de la planta



Circuito derivado N° 5

En este circuito contempla la línea de alimentación para los aparatos eléctricos con una carga de 3000 W

$$I_{c5} = (W \cdot F_U) / (V \cdot F_p)$$

$$= (3000 [W] \times 0.7) / (127 [V] \times 0.85)$$

$$= 19.45 [A]$$

Circuito derivado N° 6

En este circuito contempla la línea de alimentación del aire acondicionado con una carga de 2000 W

$$I_{c6} = (W \cdot F_U) / (V \cdot F_p)$$

$$= (2000 [W] \times 0.7) / (127 [V] \times 0.85)$$

$$= 12.96 [A]$$

3° Centro de carga

En este centro de carga hay una carga igual a 66900w dividido en 3 circuitos derivados. Es por esto que este centro de carga será alimentado por un sistema trifásico a 4 hilos (3Φ-4h).

$$I_{cT3} = W / (V \cdot F_p)(1.73)$$

$$= 66900 [W] / (240 [V] \times 0.7 \times 1.73)$$

$$= 189.83 [A]$$



Circuito derivado N° 7

Este circuito contempla la línea que alimentará una de las prensas con un consumo de 22.3 KW

$$\begin{aligned} I_{c7} &= W / (V * F_p)(1.73) \\ &= 22300 \text{ [W]} / (240 \text{ [V]} \times 0.85 \times 1.73) \\ &= 63.11 \text{ [A]} \end{aligned}$$

Circuito derivado N° 8

Este circuito contempla la línea que alimentará una de las prensas con un consumo de 22.3 KW

$$\begin{aligned} I_{c8} &= W / (V * F_p)(1.73) \\ &= 22300 \text{ [W]} / (240 \text{ [V]} \times 0.85 \times 1.73) \\ &= 63.11 \text{ [A]} \end{aligned}$$

Circuito derivado N° 9

Este circuito contempla la línea que alimentará una de las prensas con un consumo de 22.3 KW

$$\begin{aligned} I_{c9} &= W / (V * F_p)(1.73) \\ &= 22300 \text{ [W]} / (240 \text{ [V]} \times 0.85 \times 1.73) \\ &= 63.11 \text{ [A]} \end{aligned}$$



4º Centro de carga

En este centro de carga hay una carga igual a 65200w dividido en 4 circuitos derivados. Es por esto que este centro de carga será alimentado por un sistema trifásico a 4 hilos (3Φ-4h).

$$\begin{aligned} I_{CT4} &= W / (V * F_p)(1.73) \\ &= 65200 \text{ [W]} / (240 \text{ [V]} \times 0.85 \times 1.73) \\ &= 184.52 \text{ [A]} \end{aligned}$$

Circuito derivado N° 10

En este circuito contempla la línea que alimentará las bandas transportadoras con una carga de 10.5 KW

$$\begin{aligned} I_{C10} &= W / (V * F_p)(1.73) \\ &= 10500 \text{ [W]} / (240 \text{ [V]} \times 0.85 \times 1.73) \\ &= 29.71 \text{ [A]} \end{aligned}$$

Circuito derivado N° 11

En este circuito contempla la línea de alimentación de la guillotina con una carga de 36.8 KW

$$\begin{aligned} I_{C11} &= W / (V * F_p)(1.73) \\ &= 36800 \text{ [W]} / (240 \text{ [V]} \times 0.85 \times 1.73) \\ &= 104.14 \text{ [A]} \end{aligned}$$



Circuito derivado N° 12

En este circuito se contempla la línea de alimentación de uno de los secadores con una carga de 8.95 KW

$$\begin{aligned} I_{C_{12}} &= W / (V \cdot F_p)(1.73) \\ &= 8950 [W] / (240 [V] \times 0.85 \times 1.73) \\ &= 25.32 [A] \end{aligned}$$

Circuito derivado N° 13

En este circuito se contempla la línea de alimentación de uno de los secadores con una carga de 8.95 KW

$$\begin{aligned} I_{C_{13}} &= W / (V \cdot F_p)(1.73) \\ &= 8950 [W] / (240 [V] \times 0.85 \times 1.73) \\ &= 25.32 [A] \end{aligned}$$

5° y 6° Centro de carga

Se tiene una carga igual a 169600 W el cual contempla la carga de cada molino. Es por esto que este centro de carga será alimentado por un sistema trifásico a 4 hilos (3Φ-4h).

$$\begin{aligned} I_{C_{T5}} &= W / (V \cdot F_p)(1.73) \\ &= 169600 [W] / (240 [V] \times 0.85 \times 1.73) \\ &= 479.99 [A] \end{aligned}$$



3.2.2 Tabla de consumos:

Necesitamos conocer la potencia de cada uno de los consumos así como su factor de potencia para poder obtener la sección de las líneas que los alimentan.

CARGA	KW	Cantidad	Total KW
Compactadota 30 HP	22.38	3	67.14
Guillotina 49 HP	36.8	1	36.8
Lavado y Trituración 227 HP	169.6	2	339.2
Secador 12HP	8.95	2	17.9
Bandas transportadoras 2 HP	1.5	7	10.5
Lámpara 1x30 W	0.03	3	0.09
Lámpara 1x20 W	0.02	3	0.06
Lámpara 1x18 W	0.018	8	0.144
Lámpara 1x125 W	0.125	7	0.875
Enchufes	0.5	12	6
Aparatos eléctricos	0.5	6	3
TOTAL			481.709
FACTOR DE DEMANDA			0.7
DEMANDA MAXIMA			337.1963

3.2.3 Sistemas de Iluminación.

En un principio se había contemplado utilizar lámparas incandescentes, lo cual hubiera ocasionado un problema muy serio, desperdician más del 80% de su consumo en forma de calor, es decir que son más eficientes como estufas que como fuente luminosa. Son las más utilizadas, ya que se han fabricado desde hace mucho tiempo y, debido a la costumbre y a sus bajos precios, la gente se orienta a seguir utilizándolas como principal fuente de iluminación.



Otra alternativa era contemplar las lámparas dicróicas, al contrario de los que muchos piensan, también poseen un alto desperdicio calórico. La confusión se debe a que utilizan transformadores, por lo que se supone que consumen menos, pero no es así. El consumo, indicado por la potencia, impacta de la misma forma que el resto de las lámparas (50 watts de potencia en una lámpara dicróica, consumen lo mismo que 50 watts usados con cualquier otro tipo de lámparas).

Los tubos fluorescentes y las lámparas de bajo consumo, por el contrario, aprovechan al máximo la energía consumida para transformarla en luz (el calor que emiten es mínimo comparado con las incandescentes). A esto se debe que para obtener el mismo nivel luminoso, estos tubos y lámparas necesiten menos energía. Es por ello que se decidió a cambiar las lámparas existentes por este tipo de luminarias.

Equivalencia

Incandescentes de 40 watts	Bajo consumo de 5 watts
Incandescentes de 60 watts	Bajo consumo de 11 watts
Incandescentes de 75 watts	Bajo consumo de 15 watts
Incandescentes de 100 watts	Bajo consumo de 18 watts
Incandescentes de 160 watts	Bajo consumo de 20 watts
Incandescentes de 240 watts	Bajo consumo de 30 watts

Las equivalencias pueden variar ligeramente con las marcas.



Las lámparas utilizadas para la correcta iluminación de la nave serán las siguientes:

- Alumbrado exterior: 8 lámparas de 125 W.
- Alumbrado interior: 7 lámparas de 125 W.
- Zona de trabajo: 2 lámparas de 30 W.
- Estacionamiento: 1 lámpara de 30 W.
- Alumbrado de oficinas: 2 lámparas de 20 W
- Alumbrado baños: 8 lámparas de 18 W
- Alumbrado comedor: 2 lámparas de 20 W

Las lámparas cumplen con los índices de iluminación que estipula la Norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-1999.

Motores Eléctricos.

Las instalaciones cuentan con una gran cantidad y variedad de motores eléctricos. A continuación presentamos una tabla con los principales motores de mayor consumo en la planta:

Aplicación	Número de máquinas	Potencia (KW)
Prensa Hidráulica	3	67.14
Banda transportadora	7	10.5
Guillotina	1	36.8
Lavado y Trituración	2	339.2
Secador	2	17.90

Tabla 3.3 Principales motores



Factor de Potencia.

El factor de potencia al que trabajan las máquinas de corriente alterna tiene importancia económica debido al costo implícito de la potencia reactiva; un factor de potencia bajo afecta desfavorablemente de 3 formas distintas al sistema:

1. En primer lugar, los generadores, transformadores y equipos de transmisión se dimensionan en función de los kVA en lugar de hacerlo en función de los kW, ya que el calentamiento y las pérdidas dependen principalmente del voltaje y corriente independientemente de la potencia. Las dimensiones físicas y el costo de los aparatos de alterna es aproximadamente proporcional a sus kVA nominales; las inversiones en generadores, transformadores y demás equipos necesarios para suministrar una potencia dada son inversamente proporcionales al factor de potencia.
2. En segundo lugar, un factor de potencia bajo representa una mayor corriente, con el consiguiente incremento de pérdidas en el cobre de las máquinas, cables y equipos. Si el factor de potencia es inferior al límite establecido implica que los equipos consumen energía reactiva y por tanto se incrementa la corriente eléctrica total que circula en las instalaciones del consumidor y de la compañía suministradora. Los excesos de corriente pueden provocar daños en las instalaciones eléctricas por efecto de sobrecargas.
3. Y por último, el tercer inconveniente es la dificultad de regular el voltaje con lo cual empeora el rendimiento y funcionamiento de los equipos.



Capítulo 3. Análisis del consumo eléctrico dentro de la planta



Para una potencia constante (kW), la cantidad de corriente de la red se incrementará en la medida que el factor de potencia disminuya, por ejemplo, con un factor de potencia igual a 0.5, la cantidad de corriente para la carga será dos veces la corriente útil, en cambio para un factor de potencia igual a 0.9 la cantidad de corriente será 10% más alta que la corriente útil. Por lo cual se trata de mantener el factor de potencia igual o superior al 0.9.

Las instalaciones eléctricas que operan con un factor de potencia menor a lo establecido por las compañías suministradoras presentan las siguientes consecuencias en la medida que éste disminuye, además afecta a la red eléctrica tanto en alta tensión como en baja tensión:

1. Sobrecarga de los generadores, transformadores y líneas de distribución.- El exceso de corriente debido a un bajo factor de potencia, ocasiona que los generadores, transformadores y líneas de distribución, trabajen con cierta sobrecarga y reduzcan su vida útil.
2. Aumento de la caída de tensión.- Resultando en un insuficiente suministro de potencia a las cargas (motores, lámparas, etc.); estas cargas sufren una reducción en su potencia de salida. Esta caída de voltaje afecta a los embobinados de los transformadores de distribución, los cables de alimentación y los sistemas de protección y control.
3. Incremento de la potencia aparente.- Con lo que se reduce la capacidad de carga instalada en KVA en los transformadores de distribución.
4. Incremento en la facturación eléctrica.- Ya que un bajo factor de potencia implica pérdidas que afectan al productor y distribuidor de energía eléctrica, por lo que se penaliza al usuario haciendo que pague más por su electricidad.



3.3 Consumo de energía dentro de la planta.

El consumo de energía en los procesos de transformación del plástico depende de múltiples factores entre los que se encuentra arranque de la maquinaria, el tiempo para el secado del material, la complejidad del proceso, y el tipo y la cantidad de equipos auxiliares empleados en la fabricación y transformación.

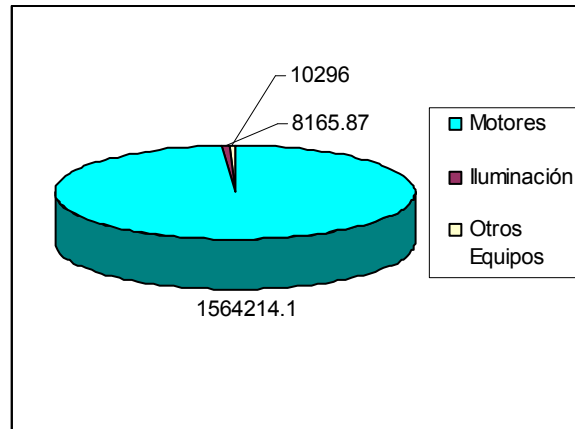
Como primer parámetro se cuantificará la energía empleada en la recuperación del plástico dentro de la planta se tomarán las horas en uso de la maquinaria que mayor consumo tienen dentro de la planta, se muestra en la siguiente tabla.

Tipo de Maquinaria	KW	No. De Máquinas	KW	Hrs en uso	KWh/día
Embaladora – compactadota	22.38	3	67.14	12	805.68
Guillotina P-100	36.8	1	36.8	8	294.4
Sistema de Lavado y Trituración	169.6	2	339.2	12	4070.4
Secador rotatorio de flujo constante	8.95	2	17.9	12	214.8
Bandas transportadoras	1.5	7	10.5	8	84
TOTAL	229.6	15	471.5		5469.28

Tabla 3.4 Consumo de energía de la maquinaria en la recuperación del plástico

El segundo parámetro a tomar es el consumo energético del alumbrado eléctrico y el equipamiento en oficinas teniendo así 8165.87 W/h y 10296 W/h anuales respectivamente, lo que nos dará el consumo total de energía.

Los principales consumidores de energía son los motores eléctricos de la maquinaria con un 98.8% sobre el total, los sistemas de iluminación con 0.5% y finalmente las cargas misceláneas (computadoras, equipos electrónicos de oficina, radios, etc.) con 0.7%.



Gráfica 3.1 Consumo energético dentro de la planta

Con estos datos se obtiene el consumo energético anual para procesar el plástico 1.582 [GW/h].

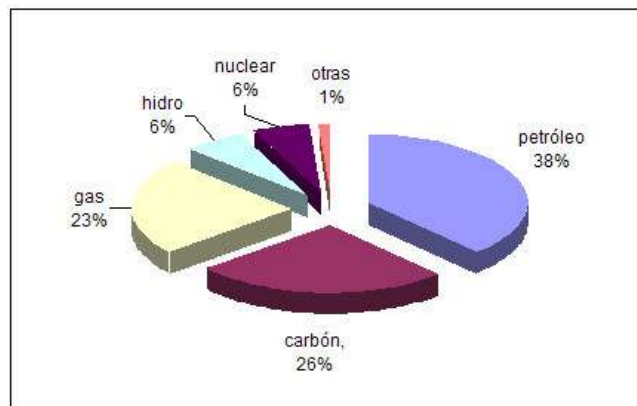
Se debe tener presente que estas cifras no se pueden tomar como un estándar debido a que existen diferentes tipos de procesos que se utilizan para recuperar el plástico, algunos tipos de plástico solo se les aplica un proceso y en otros es necesario llevar a cabo operaciones adicionales.



Capítulo 4. Ahorro energético al reciclar los plásticos

4.1 Concepto de ahorro energético

Cerca del 86% de la energía que se utiliza en el mundo proviene de los combustibles fósiles: 26% del carbón, 38% del petróleo, 23% de gas natural, 6% de la energía hidroeléctrica, un 6% de la fisión nuclear y 1% de otras fuentes, de su aprovechamiento racional dependerá que estos recursos no se agoten de manera acelerada.



Fuente: Frente de Trabajadores de la Energía

Gráfica 4.1 Panorama energético mundial

En todo el mundo hay una demanda de energía siempre creciente, la mayor parte de esta demanda proviene del sector comercial, transporte, doméstico e industrial y casi todos los procesos que tienen que ver con su conversión y uso tienen algo en común: son muy ineficientes desde su extracción primaria hasta su uso final.



Capítulo 4. Ahorro energético al reciclar los plásticos



El Ahorro de energía o eficiencia energética es una práctica empleada durante el consumo de energía que tiene como objeto disminuir el uso de la misma sin afectar el resultado final, es decir optimizar su consumo. Esta práctica conlleva a un aumento del capital financiero, ambiental, seguridad nacional, seguridad personal y confort humano.

Por otra parte el desarrollo vigoroso de las empresas requiere necesariamente del uso eficiente de la energía, ya que su inserción en la economía global permitirá alcanzar el desarrollo sustentable que requiere la población y que sólo será posible mediante el ahorro y el cuidado de los recursos energéticos.

En los últimos años se ha notado un avance en la reducción del consumo de energía por parte de las industrias, sin ser todavía considerable ese esfuerzo para la disminución de contaminantes y consumo excesivo de combustibles fósiles.

En los países en desarrollo, el consumo de energía por persona es mucho menor que en los desarrollados, a pesar de esto la eficiencia en el uso de energía no mejora. Sucede esto, entre otros motivos, porque muchas veces las tecnologías que se implantan en los países subdesarrollados son anticuadas.

En el mundo se está atravesando por una gran "crisis energética", la cual aparece debido a que las fuentes de energía utilizadas actualmente son finitas. Por ello se han buscado fuentes de energía alternativa, la cual se define como aquella que puede suplir a las energías o fuentes energéticas actuales, ya sea por su menor efecto contaminante, o fundamentalmente por su posibilidad de renovación.



Capítulo 4. Ahorro energético al reciclar los plásticos



En la actualidad se siguen buscando soluciones para resolver esta crisis inminente. Las energías renovables en las que se trabaja actualmente son:

- La energía eólica que es la energía cinética o de movimiento que contiene el viento, y que se capta por medio de aerogeneradores o molinos de viento.
- La energía hidráulica, consistente en la captación de la energía potencial de los saltos de agua, y que se realiza en centrales hidroeléctricas.
- La energía oceánica o mareomotriz, que se obtiene bien de las mareas (de forma análoga a la hidroeléctrica), o bien a través de la energía de las olas.
- La energía solar recolectada de forma directa en forma de calor a alta temperatura en centrales solares de distintas tipologías, o a baja temperatura mediante paneles térmicos domésticos, o bien en forma de electricidad mediante el efecto fotoeléctrico mediante paneles fotovoltaicos.
- La energía geotérmica producida al aprovechar el calor del subsuelo en las zonas donde ello es posible.
- La biomasa obtenida por descomposición de residuos orgánicos o bien por su quema directa como combustible.

La Comisión Nacional de Ahorro de Energía (CONAE) estima que en México tenemos un potencial de ahorro de energía superior al 20%, lo que significaría un incremento en la economía de 100 mil millones de pesos al año.

Una de las formas más eficaces de ahorrar energía es reciclando y reutilizando los productos que consideramos basura. Aproximadamente las tres cuartas partes de la energía consumida por la industria se usa para extraer y elaborar las materias primas.



4.2 Cuantificación de energía en la elaboración del plástico

En México no se tiene un estudio exacto de cuánta energía se consume en la elaboración del plástico. Para poder cuantificar cuánta energía se consume de manera exacta se tendría que realizar una investigación de mercado que determine la relación entre energía y eficiencia, esto resultaría muy costoso, es por ello que se propone una forma aproximada para cuantificar el consumo energético.

Antes de que se pretenda comenzar a cuantificar el consumo energético, primero se debe tener en cuenta cuándo y dónde se está utilizando y consumiendo realmente energía dentro de las plantas de procesos, en lo que concierne, las plantas encargadas de elaborar y manufacturar plástico, para así obtener la energía específica consumida por tonelada procesada.

Consumo de Energía Específica.

Es una medida de la energía usada por unidad de polímero procesado. Normalmente se expresa como la energía consumida para procesar un kilo de polímero. Hay dos formas de medir este consumo:

1. Consumo de energía específica de la máquina. Esta medida se obtiene a partir de los parámetros eléctricos, la potencia y la tasa de producción. Se puede establecer un mínimo teórico de consumo de energía específica examinando la energía necesaria para fundir el polímero e incrementar su temperatura hasta la temperatura de procesado.

2. Consumo de energía específica de la planta. Se utiliza para tener una media general del consumo de la instalación en un período determinado de tiempo.



Capítulo 4. Ahorro energético al reciclar los plásticos



Una forma simple de cálculo:

$$E_{Esp} = \frac{x}{1000y} \left[\frac{KWh}{Kg} \right]$$

Donde:

x = Energía total usada en un período de 12 meses expresada en KWh

y = Cantidad producida en un período 12 meses expresada en toneladas

Para determinar la energía específica al fabricar los plásticos de mayor uso comercial y con valor agregado en el mercado al ser reciclados, utilizaremos los datos obtenidos por el estudio realizado en La Institución Científica de Holanda, donde se estimó el combustible empleado así como la materia prima. Los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Material	Consumo de energía (GJ/ton)	Consumo de petróleo (ton/ton)
PET	84	1.65
HDPE	70	1.10
PEAD	70	70.00
PVC	53	0.63
PP	73	1.17
PS	80	1.26
TOTAL	430	75.81

Fuente: Embalaje que no será perjudicial para el medio ambiente Stichting Milieudedefensie (NI), 1.991

Tabla 4.1 Consumo de energía en la elaboración del plástico*

*Nota: Para el caso del PVC, el consumo de energía y de petróleo es el más bajo, ya que el 57% del PVC proviene de la sal.



Capítulo 4. Ahorro energético al reciclar los plásticos



Para determinar cuánta energía específica se empleó en la fabricación del plástico consumido en México tomaremos los datos más recientes que se tienen del mismo.

Toneladas de plástico generadas en México en el año 2000

PLÁSTICOS	SIGLAS	MILES DE TONELADAS
Poliétileno de baja densidad	PEBD	1314
Poliétileno de alta densidad	PEAD	1022
Tereftalato de polietileno	PET	633
Polipropileno	PP	974
Poliestireno	PS	389
Policloruro de vinilo	PVC	535
TOTAL		4867

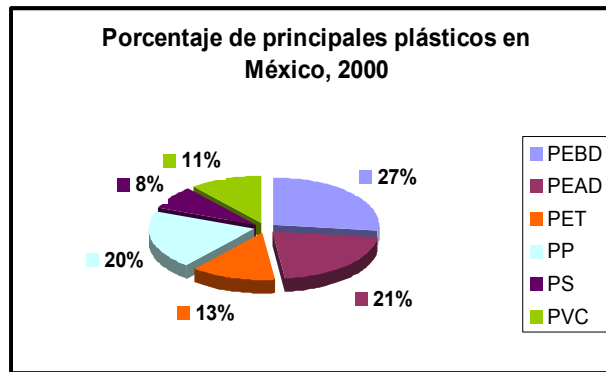


Tabla 4.2 Toneladas de Plástico generadas en México en el año 2000

Si sabemos que $1 \text{ [GJ]} = 277.778 \text{ KWh}$, podremos expresar la tabla 4.1 en término de energía específica:

Material	Ton Anuales	Consumo de energía específica (GJ/ton)	Consumo de energía específica (KWh/Ton)	Consumo de energía Total (GWh)
PET	633000	84	23333.35	14770.012
HDPE	1022000	70	19444.46	19872.238
PEBD	1314000	70	19444.46	25550.021
PVC	535000	53	14722.23	7876.395
PP	974000	73	20277.79	19750.571
PS	389000	80	22222.24	8644.451
TOTAL	4867000	430	119444.54	96463.689

Tabla 4.3 Consumo de energía anual al fabricar plásticos en México



Capítulo 4. Ahorro energético al reciclar los plásticos



En el año 2000, en México se consumieron 4,867,000 Toneladas de plástico (reciclable por medio de procesos mecánicos), de los cuales para su elaboración se consumieron aproximadamente 96,463.68 [GW]

Dentro del Estado de Morelos se consumieron 37,660 Toneladas de plástico reciclable, empleándose así 746.42 [GWh] en su elaboración.

4.3 Ahorro energético en la recuperación del plástico

En México no se tiene cuantificadas a las empresas que se dedican al reciclado del plástico, por lo cual se tomará como punto de partida una estimación del consumo energético actual en la elaboración del plástico de manera teórica para compararlo con el consumo energético en la transformación del mismo, para así establecer los patrones que ayudarán a la reducción del consumo de energía.

Para hacer un estimado utilizaremos los datos obtenidos en la planta propuesta, en el año 2007 se lograron captar 12870 toneladas de plástico:

Ton ANUALES	PET	HDPE	PEBD	PVC	PP	PS
12870	10296	1029.6	772.2	128.7	386.1	257.4



Capítulo 4. Ahorro energético al reciclar los plásticos



Calculando la energía necesaria para la producción del material captado se tiene:

Material	Toneladas Anuales	Consumo de energía (GJ/ton)	Consumo de energía (KWh/ton)	Consumo de energía Total (GWh)
PET	10296	84	23333.35	240.24
HDPE	1029.6	70	19444.46	20.02
PEBD	772.2	70	19444.46	15.02
PVC	128.7	53	14722.23	1.89
PP	386.1	73	20277.79	7.83
PS	257.4	80	22222.24	5.72
TOTAL	12870	430	119444.54	290.72

Tabla 4.4 Energía necesaria para producir el material recuperado anual

Se utilizaron 290.72 [GWh] en producir 12870 toneladas de plástico y sólo se emplearon 1.582 [GWh] en procesarlo. Este dato es realmente significativo, tan sólo dentro de la planta logró tener un ahorro energético del 99.4% durante el 2007.

Es imprescindible reducir la dependencia del petróleo y los combustibles fósiles. Cada vez que se consume energía producida por la quema de petróleo, carbón o gas se emiten gases de efecto invernadero (principalmente dióxido de carbono, CO₂), contribuyendo de esta forma al calentamiento global y otros problemas ambientales.



Capítulo 4. Ahorro energético al reciclar los plásticos



La siguiente tabla muestra el porcentaje de uso del petróleo en la industria:

70 % El diesel y el aceite calorífico
20 % Nafta:
13 % Gasolina
7 % Productos Químicos crudos:
4% Plásticos
3% Otros productos químicos
10 % Otros

Tabla 4.5 Porcentaje del uso del petróleo

Para fabricar el plástico se utiliza el 3% del total del petróleo. Al reciclar este material también se lograría un ahorro importante en el consumo de este energético. La siguiente tabla muestra el consumo de petróleo por tipo de plástico elaborado.

Material	Miles de Ton Anuales	Consumo de petróleo (ton/ton)	Total (Ton)
PET	633	1,65	1044,45
HDPE	1022	1,1	1124,2
PEAD	1314	70	91980
PVC	535	0,63	337,05
PP	974	1,17	1139,58
PS	389	1,26	490,14
TOTAL	4867	76	96115

Tabla 4.6 Consumo de petróleo al fabricar plásticos de uso comercial en México



Capítulo 4. Ahorro energético al reciclar los plásticos



Al recuperar 12,870 toneladas de plástico dentro de la planta se lograron ahorrar 254.1 toneladas de petróleo (una tonelada de petróleo corresponde a 7.5 barriles, es decir se ahorraron alrededor de 1905.75 barriles de petróleo durante el 2007).

4.4 Incineración de residuos sólidos plásticos

Los residuos en general ocupan un lugar físico dentro de los tiraderos, al incinerarlos se colabora con el problema de la escasez de tierras, pero genera otro muy grave, los gases tóxicos que se generan en esta práctica.

No todos los plásticos pueden ser recuperados para su reciclaje, específicamente los plásticos mezclados identificados con el número 7, los que ya fueron reutilizados más de siete veces y los plásticos degradados por el medio ambiente (sol, lluvia, etc), una alternativa que se ha utilizado durante muchos años es la incineración.

Durante la combustión, el carbono que contienen estos residuos se transforma en CO_2 . De esta forma, un defecto de oxígeno podrá generar monóxido de carbono (CO) por combustión incompleta del carbono. De la misma forma, un defecto de oxígeno provocará la generación de partículas inquemadas y productos incompletos de combustión (PIC).

Inconvenientes de la incineración:

- No supone un sistema de disposición total, precisa un acondicionamiento para las escorias (si no son recicladas) y especialmente para las cenizas
- Alta inversión económica inicial
- Costos operacionales elevados en el caso de incinerar sin recuperación de energía



Capítulo 4. Ahorro energético al reciclar los plásticos



- Limitada flexibilidad para adaptarse a variaciones estacionales de la generación de residuos, o necesidad de un sobredimensionamiento.
- Necesita de sistemas de control y prevención para los gases de combustión para evitar contaminantes en el medio ambiente.
- Limitada aceptación pública.

La incineración responsable de estos residuos reduce alrededor del 90% de su volumen y 75% de su peso, y en algunos tipos se puede recuperar energía. No hay que confundir incinerar con la cremación o quema de residuos.

Las comunidades con incineradores necesitan, de cualquier modo, rellenos sanitarios para verter cenizas y residuos no incinerables. Las cenizas pueden representar en peso alrededor del 25% del material que ingresa a los incineradores, y deben ser vertidas en rellenos sanitarios.

Por el momento nuestro país no cuenta con un sistema de incineración regularizado, sólo se incineran los residuos en hornos de cementeras, lo cual ocasiona grandes problemas al medio ambiente, aunado a que no se recupera energía en este proceso. Con estos incineradores en funcionamiento, México se encuentra totalmente fuera de la ley, pues como país parte del Convenio de Estocolmo, está obligado a erradicar este tipo de tecnología.

Operan 53 incineradores de residuos en México, existen incineradores en:

Aguascalientes, Baja California, Coahuila, Colima, Chihuahua, Ciudad de México, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Morelos, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, San Luís Potosí, Sonora, Tabasco, Tamaulipas, Veracruz Y Yucatán.



4.4 Valorización energética

Los países de primer mundo tienen implantados modelos de incineración óptimos. En los EUA existen plantas que incineran los residuos para generar energía eléctrica. En Hampstead, Nueva York, se procesan 2,800 toneladas al día, que generan 72 MW y abastecen a 60,000 hogares. En Newark, Nueva Jersey, se procesan 3,200 toneladas al día, las cuales generan 65 MW y abastecen a 54,000 hogares. Los datos señalan que los EUA incineran entre el 14% y el 16% de sus RSM.

Los beneficios de la incineración con recuperación energética de los residuos plásticos ayudan a disminuir el agotamiento de los combustibles fósiles. Un 10% de aumento en la utilización de los residuos sólidos. Permitiría ahorrar 2 millones de toneladas de carbón al año. Además de producir calor la recuperación energética puede generar electricidad. Por ejemplo, en Suecia, el 15% de las necesidades energéticas para calefacción se abastecen a través de la recuperación energética de los residuos sólidos.

TENDENCIAS MUNDIALES DE DIFERENTES TRATAMIENTOS (CIFRAS EN PORCENTAJE)				
PAÍS	RELLENO SANITARIO	RECICLAJE	COMPOSTAJE	INCINERACIÓN
Suiza	10	23	7	60
Japón	15	20	3	62
Suecia	32	20	3	45
Alemania	42	20	2	36
Francia	55	3	1	41
EUA	57	24	3	16
España	68	13	15	4
Italia	75	3	7	15
Río de Janeiro, Brasil	81	4	15	0
Canadá	82	10	0	8
Cali, Colombia	89	4	7	0
Inglaterra	90	2	0	8
México DF	92	7	1	0
Sao Paulo, Brasil	94	0.4	4.5	1.1
Santiago, Chile	100	0	0	0

Tabla 4.7 Tendencia mundial en el tratamiento de residuos sólidos



Capítulo 4. Ahorro energético al reciclar los plásticos



Se calcula que la incineración de los residuos sólidos en los países que la llevan a cabo genera un ingreso promedio de 20% del costo operativo siempre y cuando exista recuperación de energía.

Los plásticos han demostrado mayor versatilidad que cualquier otro material a la hora de adaptarse a los métodos de recuperación energética, reducción, reutilización y reciclado.

En este sentido se introduce un concepto *la valorización energética*, que es la recuperación de la energía y combustible contenidos en los plásticos a través de procesos térmicos. La valorización energética se diferencia de la incineración por utilizar como principal combustible los residuos plásticos para la producción de energía eléctrica. En cambio, la simple incineración no aprovecha al máximo la energía de los materiales. Cuando los materiales han perdido sus características físicas y su calidad, es cuando se procesan a través de la valorización energética, aprovechando que su energía química se puede transformar en Energía Calorífica y/o Eléctrica.

Cerca del 15% de la valorización de residuos plásticos en Europa Occidental se efectúa a través de la valorización energética. La USINA de Saint-Queen (en París) asegura la provisión de electricidad con 20,000 MWh/año, además brinda calefacción por vapor a 70,000 hogares.

Para la aplicación de este sistema de tratamiento, es necesario que los residuos posean un poder calorífico mayor a las 1400 kcal/kg, a fin de asegurar una autocombustión óptima.



Capítulo 4. Ahorro energético al reciclar los plásticos



El poder calorífico de un combustible es la cantidad de energía que produce la combustión de un kilo del mismo. Puede ser clasificado en Poder Calorífico Superior (PCS) y Poder Calorífico Inferior (PCI)

Poder calorífico superior. Se define suponiendo que todos los elementos de la combustión (combustible y aire) son tomados a 0°C y los productos (gases de combustión) son llevados también a 0°C después de la combustión, por lo que el vapor de agua se encontrará totalmente condensado. Este vapor se considera que es proveniente de:

- a) la humedad propia del combustible y
- b) el agua formada por la combustión del hidrógeno

Por tanto, el poder calorífico superior (PCS) es el calor que desprende el material combustible completamente seco, contando con el calor latente de vaporización del agua formada por la combustión del hidrógeno (si lo hay).

Poder calorífico inferior (PCI). Considera que el vapor de agua contenido en los gases de la combustión no condensa. Por lo tanto no hay aporte adicional de calor por condensación del vapor de agua.

En los procesos industriales no se aprovechan el calor de condensación del vapor, puesto que los gases se evacúan a una temperatura superior al punto de rocío. De ahí que en la práctica se use el poder calorífico inferior. Obviamente, en los combustibles exentos de hidrógeno el PCS y el PCI coinciden.

El PCI de un combustible siempre está referido a la fracción seca, al calor antes calculado se deberá restar el calor latente de vaporización del agua presente.



Capítulo 4. Ahorro energético al reciclar los plásticos



Si el combustible está húmedo (h porcentaje de agua) interviene el concepto de poder calorífico inferior útil (PCI_u) que, aproximadamente vale:

$$PCI_u = PCI * (1 - h) - 600 * h$$

Existen un sin fin de expresiones experimentales que determinan el poder calorífico inferior de materiales secos a partir del análisis elemental y se basan en que el calor desprendido por un combustible es igual a la suma de calores generados por los elementos elementales que lo componen, restando el posible hidrógeno consumido por el oxígeno. Una de las ecuaciones que proporciona un PCI con notable aproximación es:

$$PCI = 7.813C_{org} + 35.932\left(H - \frac{O}{8}\right) + 2.212S - 3.545C_{inorg} + 1.1870 + 578N$$

Donde:

C: cantidad centesimal de carbono en peso por kilogramo combustible

H: cantidad centesimal de hidrógeno total en peso por kilogramo de combustible

S: cantidad centesimal de azufre en peso por kilogramo combustible

N: cantidad centesimal de nitrógeno en peso por kilogramo combustible

O/8: cantidad centesimal de hidrógeno en peso que se encuentra combinado con el oxígeno del mismo combustible dando "agua de combinación"

(H-O/8): cantidad centesimal de "hidrógeno disponible," en peso realmente disponible para que se oxide con el oxígeno del aire, dando "agua de formación"

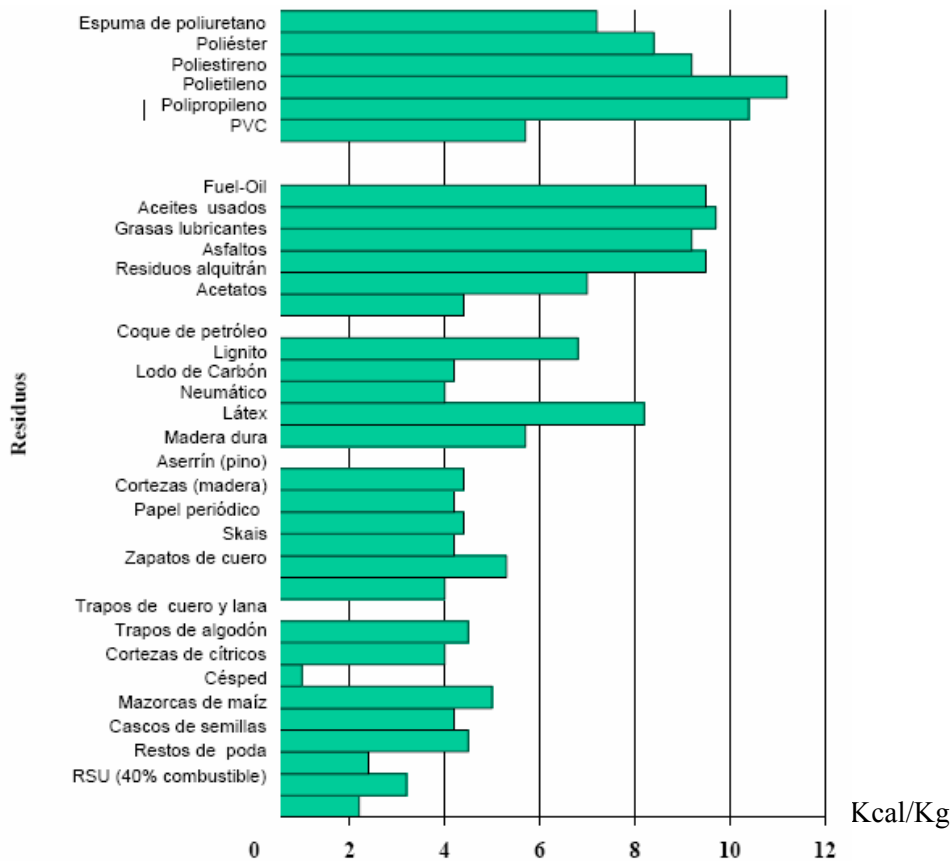


Capítulo 4. Ahorro energético al reciclar los plásticos



No es suficiente con que el combustible posea un determinado PCI para garantizar un éxito en su combustión. Es preciso que el combustible presente un elevado estado de subdivisión para que la superficie específica sea la mayor posible. En el caso de los combustibles sólidos es preciso que se realice una previa vaporización, destilación y gasificación para que los volátiles generados se combinen con el oxígeno del aire.

Los residuos sólidos municipales son utilizados como combustible para la obtención de la valorización energética, los cuales tienen diferente PCI. La clasificación integra la mayor parte de los residuos usados y su orden obedece a las tecnologías de valorización a que deberían someterse.



Gráfica 4.1 PCI de diversos materiales



Capítulo 4. Ahorro energético al reciclar los plásticos



Los residuos se subdividieron en grupos según los siguientes criterios:

- 1er grupo Residuos de plásticos, sólidos de alto PCI
- 2do grupo Residuos industriales líquidos de alto PCI
- 3er grupo Residuos industriales sólidos de PCI medio
- 4to grupo Residuos orgánicos de PCI medio
- 5to grupo Residuos orgánicos de PCI bajo

La siguiente tabla indica, de manera general el poder calorífico inferior de todos los Residuos Sólidos Municipales

Componente	% en peso húmedo	% humedad	Valor en seco	PCI kcal/kg	TOTAL kal
Fermentable	40	65	14	1.800	252
Parcial Ferm.	40	26	14	—	252
Papel	20	15	17	4.200	714
Cartón	10	10	9	3.900	351
Plásticos	11	10	9,9	9.000	891
Textiles	3	30	2,1	3.600	75,6
Madera	1	15	0,85	4.400	37,4
Parcial RDF	45	6,15	38,85	—	2.069
Vidrio	9	—	9	—	—
Metales	4	—	4	—	—
Otros	2	—	2	—	—
Parcial Iner.	15	—	15	—	—
TOTAL	100	32,15	67,85	—	2.321

Fuente: Tratamiento y Valorización Energética de los Residuos Sólidos; Castells Xavier 2005

Tabla 4.9 Poder calorífico inferior de todos los Residuos Sólidos Municipales

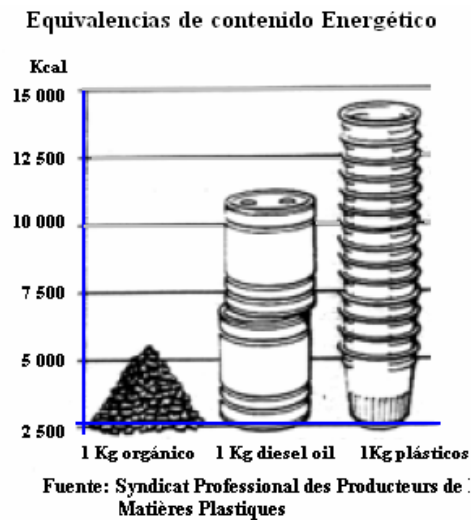
Para que un residuo sólido sea incinerable el porcentaje de humedad (W) no debe sobrepasar el 50%.



Capítulo 4. Ahorro energético al reciclar los plásticos



Los plásticos, tienen un contenido energético superior al de los combustibles fósiles, por ejemplo, un kilogramo de residuos plásticos tiene un poder calorífico inferior mayor a un kilogramo de gasoil para calefacción.



El PET tiene un alto valor de incineración de 10.000 BTUs por libra, una cantidad que se compara al carbón.

Existen diversos procesos para obtener energía de los materiales:

1. Termoquímicos

- Combustión
- Gasificación
- Pirólisis

2. Bioquímicos

- Fermentación

3. Químicos



Capítulo 4. Ahorro energético al reciclar los plásticos



La valorización energética de los plásticos se logra a través de procesos termoquímicos, dando así diversos productos, como se muestra en el diagrama

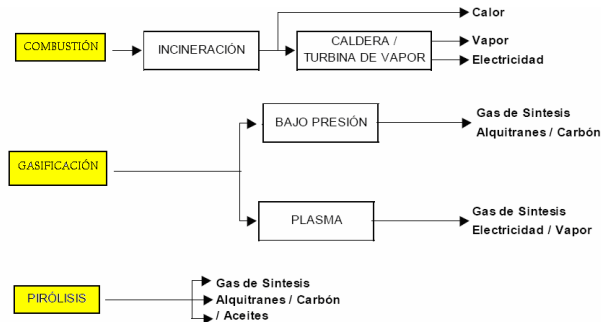


Diagrama 4.1 Tipos de procesos termoquímicos

Para lograr la valorización energética es necesario implementar plantas alternas capaces de captar la energía liberada. Una vez definido el tipo de subproducto que se quiere obtener, habrá que establecer una logística de transporte que asegure un flujo constante de material, ya sea los plásticos que no se pueden recuperar en la planta de reciclaje propuesta o los residuos que no se pudieron separar para su reciclaje. Para poder definir qué tipo de residuo se va a utilizar se debe tomar en cuenta su poder calorífico.

4.6 Plantas de valorización energética para plásticos

Una planta de valorización energética es una instalación en la que se produce una combustión controlada, en condiciones óptimas, es decir, temperatura mínima de 850 °C, tiempo de permanencia de un mínimo de 2 segundos y turbulencia de oxígeno superior al 6%. De este modo se consiguen transformar los residuos en escorias, cenizas y gases, con la mínima producción de contaminantes posible y a su vez se da una importante reducción del volumen de los residuos. Con el calor producido en el proceso se genera vapor que, conducido a una turbina, genera electricidad.



Capítulo 4. Ahorro energético al reciclar los plásticos



a. Proceso de Combustión

- Recuperación de energía de los residuos plásticos mezclados con el resto de los residuos.

Alrededor del 60% de las plantas de incineración de residuos sólidos municipales en Europa realizan recuperación de energía. La mayor parte de ellas usa un intercambiador de calor y una caldera para producir calor para la población. Otro gran número usa también la primera salida de vapor para mover una turbina y producir electricidad.

- Recuperación de residuos plásticos sólo mediante combustión.

En este caso se tratan exclusivamente los residuos plásticos, bien porque no sean aptos para el reciclado mecánico. Cuando los plásticos han sido agredidos por el aire y el sol durante varias temporadas, se aconseja la Valorización Energética, ya que su recuperación por vía mecánica implica un impacto medioambiental mayor que el beneficio que se va a obtener.

b. Proceso de Gasificación por arco de plasma

A pesar de que la tecnología del procesamiento de materiales con plasma lleva en activo desde algún tiempo, Joseph Longo, jefe ejecutivo y fundador de la Corporación Medioambiental Startech, ha desarrollado un dispositivo que puede manejar muy bien cualquier tipo de desechos que se pongan en su interior, y convertirla en fuente limpia de energía.



Capítulo 4. Ahorro energético al reciclar los plásticos



En el interior de un vaso de acero inoxidable sellado y repleto de aire común, se hace pasar un alto voltaje entre dos electrodos que arranca electrones del aire, convirtiendo al gas en plasma. La energía del arco de plasma es tan potente que rompe la materia en sus partes componentes desmontando los electrones de valencia de los átomos, y rompiendo sus ataduras moleculares.

Este proceso crea dos subproductos, uno es un gas sintético compuesto principalmente por hidrógeno y monóxido de carbono, que puede convertirse en un combustible limpio.

El segundo subproducto es una forma de cristal vitrificado que puede emplearse como relleno inerte para la construcción de carreteras, ladrillos u otros usos. Dependiendo de la naturaleza del material suministrado a la unidad de conversión de la máquina, el cristal puede ser utilizado para crear baldosas o encimeras. Algunos científicos, advierten no obstante, que este cristal podría probablemente contener metales pesados tóxicos.

El proceso produce suficiente gas sintético como para aportar la energía que la unidad consume, además de un excedente que podría venderse directamente o emplearse para generar un extra de electricidad, lo cual aporta una fuente de ingresos adicional a la instalación.

Esta es una opción muy atractiva para muchas ciudades que están pagando grandes tasas en concepto de transporte y almacenamiento de basuras; cada unidad StarTech procesa dos mil toneladas de basura por día.



c. Proceso de Pirólisis

Pirólisis a baja temperatura.

Es otro tratamiento térmico para aprovechar los residuos plásticos. En este proceso los residuos son carbonizados y los gases que se producen son utilizados como combustible, tras la eliminación de las partículas, del residuo inorgánico sólido puede ser recuperada la fracción metálica para ser reciclada y el resto ser utilizada.

1. Planta de Pirólisis de lecho Fluidizado o de cauce fluido.

Centrándose en los estudios realizados en la pirólisis de plásticos en lecho fluidizado, los resultados de la pirólisis de polietileno de alta densidad, polietileno de baja densidad, poliestireno y cloruro de polivinilo dan tres grandes grupos de productos: 75-80% de un destilado con la viscosidad y potencia calorífica del fuel nº 2, 15-20% de un corte más ligero y un 5% restante de un gasóleo pesado. En este proceso el propio gas producido actúa como combustible y además obtienen energía calorífica.

En la pirólisis en lecho fluidizado el gas alimentado son los gases producto del craqueo térmico del plástico. El proceso funciona a 600 °C dando un gas que contiene cerca de un 60% de nafta y mezcla de C2-C4. El cloro se adsorbe con óxido de calcio en el mismo lecho.

La estrategia perseguida en la pirólisis térmica es la optimización del proceso para conseguir los productos más rentables, recuperando los monómeros tales como etileno, propileno, estireno.



Capítulo 4. Ahorro energético al reciclar los plásticos



La planta de Las Lomas, España utiliza este proceso. Trata alrededor de 600 toneladas de la Fracción Resto, de la cual se obtiene una producción eléctrica neta de 268, 898,157 KWh/año. En el 2007, la energía eléctrica total producida fue de 470,000,000 Kwh/año. Esta energía podría dar el alumbrado público de Madrid durante más de 3 años; además, sería capaz de suministrar energía a más de 397,273 ciudadanos. Esta planta genera un gasto de 50 € por tonelada tratada, es decir, 11 millones de euros anuales aprox.

2. Planta de pirólisis catalítica.

Aunque es muy confiable la tecnología de lecho fluidizado, tiene importantes lagunas debido a sus limitaciones intrínsecas. Es por ello que se propone una planta que realice el proceso a través de la pirólisis catalítica, utilizada específicamente en los plásticos.

Recientemente, Gaisán (2002) ha estudiado la pirólisis térmica de polietileno (de alta y de baja densidad), polipropileno y poliestireno en un nuevo reactor, un *spouted bed* cónico.

Este reactor tiene las características de los *spouted beds* convencionales (cilíndricos con una base cónica): Elevada capacidad de transmisión de calor y de materia (el contacto gas-sólido es prácticamente con contacto de ambas fases en contracorriente); reducida segregación gracias al *spout* central en el que se rompe cualquier aglomerado incipiente; movimiento cíclico de las partículas, que facilita el recubrimiento uniforme de las partículas de arena con el plástico.



Capítulo 4. Ahorro energético al reciclar los plásticos



Además, la geometría cónica confiere a este reactor unas características adicionales entre las que cabe destacar la versatilidad casi ilimitada para establecer la velocidad del gas y como consecuencia la vigorosidad en el movimiento de las partículas.

Gracias a la versatilidad de este reactor puede trabajarse en un amplio intervalo de temperatura. Así, a baja temperatura, en torno a 450 °C, se obtiene un elevado rendimiento de ceras (parafinas C12-C50). El interés de esta obtención de ceras reside en conjugar la minimización del consumo energético de la pirólisis.

El reactor de *spouted bed* cónico consigue una elevada velocidad de pirólisis, lo que unido a su simplicidad de diseño y facilidad de aumento de escala permite considerarlo como una alternativa mejor que la del reactor fluidizado.

Ventajas de este tipo de plantas:

- Sistema Modular. Un solo módulo puede producir hasta 775 litros de derivado de petróleo crudo por cada tonelada de residuos plásticos tratados.
- Capacidad. Puede tratar de 200 toneladas a 400 toneladas de desechos plásticos mensuales. En general la capacidad de la planta se puede ampliar mediante la adición de módulos adicionales.
- Tratamiento de los plásticos. Los desechos plásticos no necesitan ser preordenados antes de la transformación, esto reduce el costo de operación considerablemente.
- El derivado de petróleo crudo producido es de alto grado y puede ser procesado en una refinería o utilizado para máquinas como las turbinas de generación eléctrica.



Capítulo 4. Ahorro energético al reciclar los plásticos



Está diseñado para procesar:








Resina Código	Descripción	Orientación
 PETE	PET	Aceptable dentro de ciertos límites
 HDPE	HDPE	Aceptable
 V	PVC	No recomendado
 LDPE	LDPE, LLDPE	Aceptable
 PP	PP	Aceptable
 PS	PS	No Aceptable
 OTHER	Otros	Varía según el tipo de plástico

Tabla 4.10 Plásticos utilizados en una planta de pirólisis catalítica.

Funcionamiento del proceso

El proceso se inicia en una fase de trituración de los productos sin clasificar, para lo cual la materia prima de alimentación entra en un molino-troceador, en donde se corta en pedazos.

Esta fase es muy importante para las fases siguientes ya que el rendimiento es mayor a medida de que el tamaño de los trozos obtenidos es menor.

A partir de este punto, una vez cortada, la materia prima se conduce a través de cintas transportadoras a un tanque “pulmón” desde donde se suministra el producto al Reactor, que es el elemento fundamental de la patente tecnológica de este proceso.

En el reactor se descompone la materia prima en sus componentes básicos, formando vapores y derivados sólidos.



Capítulo 4. Ahorro energético al reciclar los plásticos



Los gases vaporizados salen del Reactor y se procesan mediante un sistema de condensación y destilación que enfrían el vapor hasta el estado líquido, produciéndose, en parte, un Diesel-Fuel similar al fuel-oil de grado 4 a grado 6, según los materiales procesados. A partir de este momento, este combustible se canaliza hacia tanques para su venta, uso en calderas o cogeneración.

Junto con el combustible vaporizado se eleva un gas tipo metano de calidad media y alto poder calorífico. El gas se emplea para calentar el Reactor así como para generar vapor y energía eléctrica para toda la instalación a través de una planta de cogeneración.

El autoconsumo total aproximado de la planta, oscila alrededor del 30 % del gas producido.

El carbón (negro de carbón), que representa el derivado sólido no vaporizado del proceso, sale del Reactor por el extremo opuesto a aquél por donde entran las partículas. El negro de carbón se envía, mediante cinta transportadora, a los silos, donde se almacena para su venta.

Es muy importante destacar que estos datos corresponden a plantas comerciales en funcionamiento y que los reactores iniciales han estado en funcionamiento 24 horas diarias, 6 días a la semana, durante los últimos diez años y aún funcionan perfectamente.

Productos obtenidos

- Diesel – Fuel de alto poder calorífico y de posible utilización directa en calderas, turbogenerador, etc.
- GAS, de posible utilización directa en generadores de calor, turbogenerador, etc.
- Negro de carbón directamente utilizable para recauchutados, fabricación de gomas diversas, etc.



Capítulo 5. Impacto ambiental

5.1 Definición de impacto ambiental

Impacto ambiental es el efecto que produce una determinada acción humana sobre el medio ambiente en sus distintos aspectos.

Los impactos ambientales pueden ser clasificados por su efecto en el tiempo, en 4 grupos principales:

- Impacto Ambiental Irreversible: Es aquel impacto cuya trascendencia en el medio, es de tal magnitud que es imposible revertirlo.
- Impacto Ambiental Temporal: Es aquel impacto cuya magnitud no genera mayores consecuencias y permite al medio recuperarse en el corto plazo hacia su línea de base original.
- Impacto Ambiental Reversible: El medio puede recuperarse a través del tiempo, ya sea a corto, mediano o largo plazo, no necesariamente restaurándose a su estado original.
- Impacto Ambiental Persistente: Las acciones o sucesos practicados al medio ambiente son de influencia a largo plazo, y extensibles a través del tiempo.



Capítulo 5. Impacto ambiental



El impacto ambiental negativo se presenta en el siguiente orden decreciente de riesgo:

1. Sitios de disposición final.
2. Sitios de almacenamiento temporal
3. Estaciones de transferencia
4. Plantas de tratamiento y recuperación.
5. El proceso de recolección y transporte. (Contaminación del aire del suelo y del paisaje).

5.2 Impacto ambiental debido a los residuos sólidos municipales.

El mal manejo de los residuos sólidos municipales genera contaminantes en el aire, suelo y agua, influyendo de manera directa en la salud de un importante sector de la población, principalmente la de bajos recursos.

De esta manera, los riesgos asociados a la gestión inadecuada de los residuos sólidos en un período largo de tiempo son:

a) Transmisión de enfermedades: Las cuales pueden producirse por contacto directo con los residuos y de manera indirecta a través de la fauna nociva (moscas, mosquitos, cucarachas, ratas, etc).

La acumulación de los residuos puede causar más de 40 enfermedades como colitis, ascariasis, hepatitis virósica, toxoplasmosis, fiebre tifoidea, poliomiелitis, sarna, pediculosis, tuberculosis, asma, diarrea aguda entre otras.

b) Contaminación del aire: las principales causas de contaminación del aire que respiran los habitantes de la ciudad se generan por la quema de residuos y la



Capítulo 5. Impacto ambiental



exposición de estos dentro de los tiraderos a cielo abierto, los cuales producen gases tóxicos y la suspensión de partículas que son altamente contaminantes.

c) Contaminación del agua: Al disponer los residuos sólidos en tiraderos a cielo abierto, con el paso del tiempo se generan lixiviados, estos se filtran a través del subsuelo llegando así a los mantos acuíferos

Cuando se realiza un estudio sobre la contaminación del aire y del agua, es necesario tener información con la que se puedan comparar las distintas clases de polución. En estos estudios se emplea el método de los "volúmenes críticos", es decir, el volumen de aire o de agua necesario para diluir la cantidad emitida de un contaminante determinado por debajo de los límites legales en vigor. Todos los volúmenes, para cualesquiera emisiones individuales, se suman para obtener el volumen crítico total de un producto.

d) Contaminación de suelos: Esta contaminación generalmente aparece al producirse una ruptura de tanques de almacenamiento subterráneo, aplicación de pesticidas, filtraciones de los lixiviados de los rellenos sanitarios o de acumulación directa de productos industriales. Los químicos más comunes incluyen hidrocarburos de petróleo, solventes, pesticidas y otros metales pesados. Este fenómeno está estrechamente relacionado con el grado de industrialización e intensidad del uso de químicos.

e) Problemas paisajísticos y riesgo: La acumulación de residuos en tiraderos clandestinos trae consigo un impacto paisajístico negativo, además de tener un importante riesgo ambiental, pueden también producir accidentes.



5.3 Impacto ambiental en la producción del plástico

Retomando el caso particular de los residuos sólidos plásticos, si se entierran en un vertedero ocupan mucho espacio, tardan milenios en degradarse. Si se opta por incinerarlos de manera inadecuada, originarán emisiones de CO₂, contribuyendo al cambio climático, y a la generación de contaminantes atmosféricos muy peligrosos para la salud y el medio ambiente.

Se puede determinar el total de aire y agua contaminada al producir cada plástico. De hecho, las cifras obtenidas dan cuenta de la cantidad y de la toxicidad de la emisión: los contaminantes con mayor toxicidad, necesitan más cantidad de aire y agua en los que diluirse para entrar dentro de la normativa, lo que da lugar a un volumen crítico más elevado.

Este método de comparación, tiene algunos inconvenientes: los límites legales cambian mucho de un país a otro, basándose en las diferencias de las supuestas propiedades (eco) toxicológicas. A veces, estos límites están basados en razones políticas y no toxicológicas. Si este método se aplica correctamente, nos puede dar una idea aproximada sobre cuales son estos problemas.

A continuación aparecen los tipos de contaminantes que se producen en la fabricación del plástico.



Capítulo 5. Impacto ambiental



Emisiones liberadas al aire.

- CO₂

Por cada KW consumido se liberan 0.65 Kg de dióxido de carbono.

Al fabricar las 12870 toneladas de plástico que se recuperaron dentro de la planta se utilizaron 290.72 [GWh] lo cual implica que se liberaron 188,967.5 toneladas de CO₂. Al reciclar este material sólo se emplearon 1.629 [GWh] liberando así 1058.85 toneladas de CO₂, teniendo así una disminución importante de este gas al medio ambiente.

Además de este contaminante también se libera al aire:

Polvo, Monóxido de carbono, Óxidos de nitrógeno, Óxido de azufre, Cloruro de hidrógeno, Hidrocarburos, Metales, entre otros.

Emisiones en el agua

Carbono orgánico disuelto (COD), Los iones de sodio, Ácidos, Metales, Los iones de cloruro, Sólidos en suspensión, Detergente / aceite, Hidrocarburos, Sólidos Disueltos



Volumen Crítico

Cuando hacemos un estudio sobre la contaminación del aire y del agua, necesitamos tener una información con la que comparar distintas clases de polución. En la mayoría de los análisis de ciclo de vida se emplea el método de los “volúmenes críticos”, es decir, el volumen de aire o de agua necesario para diluir la cantidad emitida de un contaminante determinado por debajo de los límites legales en vigor. Todos los volúmenes, para cualesquiera emisiones individuales, se suman para obtener el volumen crítico total de un producto.

Este método de comparación, tiene algunos inconvenientes: los límites legales cambian mucho de un país a otro, basándose en las diferencias de las supuestas propiedades eco toxicológicas. A veces, estos límites están basados en razones políticas y no toxicológicas. Si este método se aplica correctamente, nos puede dar una idea aproximada sobre cuales son estos problemas.

Un estudio realizado en la Institución Científica de Holanda La Stichting Milieudefensie, estimó la cantidad de partículas liberadas por tipo de plástico. Los resultados se muestran en la siguiente tabla:



Capítulo 5. Impacto ambiental



Material	c.v. Aire (m3 de aire/Kg)	c.v. agua (dm3 de agua/Kg)
PVC	700	3000
LDPE	265	1650
PP/HDPE	325	3685
PS	255	6335
PET	180	8000
PC	180	5050
Acero	3400	4600
Aluminio	9320	27700
Fuente : Stichting Milieudéfensie (NI), 1.991		

Tabla 5.1 Volúmenes críticos en el aire y agua, cuando se produce 1 Kg. de sustancia

Con los datos de la tabla 4.5 y 5.3 se obtiene la cantidad aproximada del volumen crítico total de partículas liberadas en el plástico recuperado.

Material	Toneladas	c.v. Aire (m3 de aire/Kg)	c.v. agua (dm3 de agua/Kg)
PET	10296	180	8000
HDPE	1029.6	325	3685
PEBD	772.2	265	1650
PVC	128.7	700	3000
PP	386.1	325	3685
PS	257.4	255	6335
TOTAL	12870	2050	26355
Fuente : Stichting Milieudéfensie (NI), 1.991			

Tabla 5.2 Total de volúmenes críticos evitados al reciclar plásticos



5.4 Impacto ambiental en el proceso de la incineración

Entre las emisiones contaminantes de los incineradores de residuos sólidos no controlados (como los de México) se cuentan monóxido de carbono, dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, la materia particulada, metales, gases ácidos, las dioxinas y furanos. Al incinerar se produce CO_2 , partículas diversas, metales tóxicos y otros compuestos que salen como humo. Para evitar que salgan a la atmósfera se deben limpiar los humos con filtros electrostáticos que atraen las partículas, las aglutinan y caen por gravedad a unirse a las cenizas. También pasa el humo por una lluvia de agua con productos químicos que neutraliza y retira compuestos tóxicos del humo. Al final salen los humos mucho más limpios si el proceso funciona bien, lo que no siempre ocurre si no se vigila y pone a punto continuamente. Otro importante peligro está en que algunos compuestos como el PVC (policloruro de vinilo) y algunas tintas, cuando arden producen dioxinas y otras sustancias gravemente tóxicas y muy difíciles de eliminar de los gases. De todas formas, una incineradora de moderna tecnología que funciona bien produce unas emisiones perfectamente aceptables, aunque también su costo es muy alto. Los compuestos contaminantes que se emiten a la atmósfera son similares a los que se emiten en el resto de las combustiones:

- Gases : Podemos destacar los gases ácidos, como cloruro de hidrógeno (HCl) y dióxido de azufre (SO_2) y mercurio.
- Partículas de ceniza conteniendo metales (cadmio, plomo...).
- Compuestos orgánicos, tales como hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs , hollines y negro de humo), bifenilos policlorados, “dioxinas” (*policlorodibenzodioxinas* o *PCDDs*) y “furanos” (*policlorodibenzofuranos* o *PCDFs*). Estos compuestos pueden encontrarse tanto asociados a las partículas, como en forma de vapor.



Existen numerosos estudios que miden las emisiones de contaminantes de las incineradoras, pero una de las principales referencias es la recopilación crítica realizada por la Agencia Medioambiental de Estados Unidos (US-EPA): Este trabajo toma los datos de 104 instalaciones situadas en los Estados Unidos y Canadá, que se consideran entre los más fiables de los disponibles. La Tabla 1 muestra una selección de los valores obtenidos con los datos recogidos hasta el año 2003. Se puede observar cómo la emisión de contaminantes se ha reducido, de forma drástica, al dotar a las incineradoras de sistemas de depuración.

La tabla 5.3 muestra los factores de emisiones a la atmósfera en instalaciones de incineración de residuos sólidos urbanos (USEPA), clasificados en función del sistema de depuración de gases de la instalación. Valores expresados en forma de miligramos de contaminantes emitidos por cada tonelada de residuo incinerado.

Tipo de contaminante	Sin sistema de depuración	Filtros electrostáticos	Filtros de mangas
Partículas	12600-34800	29-520	31-89
HCl	1000-3200	79-3200	26-319
SO ₂	1600-1900	330-800	22,1-715
Cadmio	1,20-5,45	0,0004-0,3	0,012-0,016
Mercurio	2,8	0,2-2,8	0,15-1,10
Plomo	1,07	0,00005-0,18	0,000033-0,052
PCDD/PCDF	0,0016-0,0047	0,00005-0,008	0,000012

TABLA 5.3. Factores de emisiones a la atmósfera en instalaciones de incineración de residuos sólidos urbanos



Capítulo 5. Impacto ambiental



Para emitir la misma cantidad de dioxinas que se generaran en la incineración de 1 [Kg.] de residuos sólidos, en una instalación dotada de un sistema de depuración avanzado con valorización energética, es preciso quemar:

1. 0,7 [Kg] de residuos hospitalarios en una incineradora moderna
2. Entre 7 gramos y 1,3 [Kg] de residuos industriales
3. Entre 0,4 y 1,3 [Kg] de carbón en una estufa doméstica
4. 20 gramos de madera no tratada con preservativos clorados
5. 1 litro de gasolina con plomo
6. 21 litros de gasolina sin plomo
7. 50 litros de gasóleo

Ejemplificando se compararan las dioxinas generadas en la planta contra las de un automóvil promedio.

Se sabe que en la actualidad que el promedio global del uso de un automóvil es de 12,000 millas por año, es decir 32.9 millas por día, o 53 kilómetros por día. El promedio de rendimiento de un automóvil es de 25 millas por galón, el que se traduce a 40 kilómetros por galón, ó 10.4 kilómetros por litro. Por lo tanto, el consumo global de gasolina es de:

$53 \text{ [Km/día]} / 10.4 \text{ [Km/litro]} = 5.1 \text{ litros por día. (San Diego State University)}$

Es decir la planta en cuatro días genera aproximadamente los mismos contaminantes que un automóvil.

En la valorización energética las emisiones de dioxina son de entre 0,02 y 0,06 [ng] por m³ normal de aire, muy por debajo de lo que establece los estándares (0,1 [ng] por m³ Normal de aire).



5.5 Calentamiento global

El calentamiento global es un incremento, en el tiempo, de la temperatura media de la atmósfera terrestre y de los océanos. Es una modificación atribuida de manera directa o indirectamente a las actividades humanas que alteran la composición global atmosférica, agregada a la variabilidad climática natural observada en periodos comparables de tiempo (EEI, 1997).

La IPCC (Panel Internacional sobre Cambio Climático), acordó que "un cambio discernible de influencia humana sobre el clima global ya se puede detectar entre las muchas variables naturales del clima". Según el Panel, la temperatura de la superficie terrestre ha aumentado aproximadamente 0.6°C en el último siglo. Las emisiones de dióxido de carbono por quema de combustibles, han aumentado a 6.25 mil millones de toneladas en 1996, un nuevo récord. Por otro lado, 1996 fue uno de los cinco años más calurosos que existe en los registros (desde 1866). Se estima que los daños relacionados con desastres climáticos llegaron a 60 mil millones de dólares en 1996, otro nuevo récord (GCCIP).

De acuerdo a la IPCC, una duplicación de los gases de invernadero incrementarían la temperatura terrestre entre 1 y 3.5°C . Aunque no parezca mucho, es equivalente a volver a la última glaciación, pero en la dirección inversa. El aumento de temperatura sería el más rápido en los últimos 100,000 años, haciendo muy difícil que los ecosistemas del mundo se adapten.

El calentamiento global es la consecuencia de la acumulación del dióxido de carbono junto con otros, esta acumulación atrapa la radiación solar cerca de la superficie terrestre, causando un incremento de temperatura. Esto podría en los próximos 45 años, aumentar el nivel del mar lo suficiente como para inundar ciudades costeras en zonas bajas y deltas de ríos. (WMO, 1986).



Capítulo 5. Impacto ambiental



El principal cambio climático a la fecha ha sido en la atmósfera, se ha cambiado el balance de gases que forman la atmósfera. Esto es especialmente notorio en gases invernadero claves como el CO_2 , Metano (CH_4) y Óxido Nitroso (N_2O). Estos gases naturales son menos de una décima de un 1% del total de gases de la atmósfera, pero son vitales pues actúan como una "frazada" alrededor de la Tierra. Sin esta capa la temperatura mundial sería 30°C más baja.

La energía recibida por la Tierra desde el Sol, debe ser balanceada por la radiación emitida desde la superficie terrestre. En la ausencia de cualquier atmósfera, la temperatura superficial sería aproximadamente -18°C . Esta es conocida como la temperatura efectiva de radiación terrestre. De hecho la temperatura superficial terrestre, es de aproximadamente 15°C .

5.5.1 El Efecto Invernadero

La razón de esta discrepancia de temperatura, es que la atmósfera es casi transparente a la radiación de onda corta, pero absorbe la mayor parte de la radiación de onda larga emitida por la superficie terrestre. Varios componentes atmosféricos, tales como el vapor de agua, el dióxido de carbono, tienen frecuencias moleculares vibratorias en el rango espectral de la radiación terrestre emitida. Estos gases de invernadero absorben y reemiten la radiación de onda larga, devolviéndola a la superficie terrestre, causando el aumento de temperatura, fenómeno denominado Efecto Invernadero (GCCIP, 1997).



CONCLUSIONES

En este trabajo se presentó una solución alterna a la problemática que genera el mal manejo de los residuos sólidos municipales, en especial los plásticos. Al implantar esta solución se fueron enumerando los beneficios que se tienen de manera directa e indirecta al reciclar los plásticos.

Es necesaria una gestión que garantice la salud de las personas y del medio ambiente, para lograrlo es necesario aprovechar al máximo los medios que estén a nuestro alcance. Máxime si estas tendencias favorecen, como ocurre con la separación, reutilización, reciclaje, la incineración, la valorización de recursos y el desarrollo de las energías sostenibles (eólica, solar, hidráulica, biomasa, geotérmica, oceánica), que son más seguras sanitaria y medioambientalmente, son flexibles y permiten incrementar el nivel tecnológico de nuestro sistema productivo en un sector de tanta importancia como el del medio ambiente.

Se debe prevenir la generación excesiva de residuos mediante un consumo responsable de los mismos y reciclar todo aquel que pueda reintegrarse a una nueva vida útil. Al realizar esta acción:

- Se reduce las emisiones de los tiraderos. Si los residuos orgánicos se tratan integralmente mediante biodigestores anaeróbicos o se mantienen separados para su compostaje no se genera metano. Al recuperar la mayoría de los residuos inorgánicos se logrará un menor volumen de los mismos dentro de los tiraderos.



Conclusiones



- Se reduce el uso de energía. El tratamiento integral de los residuos sólidos urbanos ahorra energía: la cantidad de energía necesaria para fabricar productos a partir de materia prima virgen es mucho mayor que la energía que se necesita para fabricar esos productos a partir de materiales reciclados. Por ejemplo, la cantidad de energía derrochada por no reciclar latas de aluminio y acero, papel, materiales impresos, vidrio y plástico en Estados Unidos equivale a la producción anual de 15 centrales térmicas de tamaño mediano.
- Dejan el carbono en los bosques. La deforestación genera el 25 por ciento de las emisiones de carbono a nivel mundial, y la industria de pulpa y papel representa el 10 por ciento de todas las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), lo que la convierte en la cuarta fuente de emisión de GEI. Si se reduce el consumo del papel y se aumenta el reciclaje, se preservan más árboles y más bosques nativos.

Dentro de la planta, además de contribuir de manera importante en el ahorro energético indirectamente, se tomaron medidas de reestructuración, las cuales permitieron tener un ahorro directo con un consumo menor de energía eléctrica, se reguló la corriente, se cambiaron las lámparas incandescentes, entre otras medidas.

Durante el año 2006 se tuvo dentro de la planta un consumo energético de 16.29 [GWh]. Al realizar los cambios mencionados en la planta se obtuvo un decremento de energía durante el 2007 de 473 [KWh], evitando así la liberación de 308 Kg de CO₂ a la atmósfera.



Conclusiones



De la valorización energética se puede decir que es una técnica aplicable al tratamiento de residuos, siempre y cuando:

- Su utilización se limite a la fracción de basura no recuperable de otras formas.
- Se intensifiquen los esfuerzos para la minimización y el reciclado, y se reduzca en lo posible la fracción incinerada.
- Se mantenga un estricto control sobre la gestión de la instalación y de sus residuos y se minimicen las emisiones a la atmósfera.

Conviene señalar que las críticas que se han hecho y continúan haciéndose a la incineración de residuos, tenían su justificación en las instalaciones que funcionaron hasta finales de los años ochenta, pero a partir de ese momento, especialmente en la Unión Europea por la adopción de límites estrictos de emisión a la atmósfera, han perdido razón de ser.

Se debe acentuar que su uso debe considerarse no como la solución, sino como un elemento base dentro de un sistema integrado de gestión de residuos municipales, aprovechando las ventajas que los diversos sistemas de tratamiento de basuras ofrecen, e intentado obviar los inconvenientes de cada uno de ellos.

Otro aspecto importante a considerar, no sólo en la incineración, sino todos los sistemas de tratamiento de residuos, es que deben responder a los máximos criterios de una gestión de calidad. Se deben tomar medidas en México como ya se tomaron en la Unión Europea, en la Enmienda 38 dentro del Parlamento Europeo, se menciona que: los Estados miembros tomarán las medidas necesarias para asegurar, cuando sea factible, que todos los residuos sean sometidos a operaciones de recuperación.



Conclusiones



Para reducir el impacto que ocasionan los residuos sólidos se deben implantar tecnologías limpias, análogas a las de los productos naturales, las cuales permitan seguir satisfaciendo las necesidades del ser humano a un bajo costo ambiental. Deben optimizarse los procesos de reciclado y/o reuso de los residuos, minimizarse los volúmenes generados, hacer un adecuado intercambio de desechos entre fábricas, y realizar una adecuada valorización energética con la finalidad de contribuir a mejorar nuestra calidad de vida.



ACV : El "Análisis del Ciclo de Vida", es un método científico que se emplea para investigar el impacto de un material -o de un sistema - en el medio ambiente durante toda la vida de dicho material, en una aplicación concreta, desde la obtención de las materias primas, hasta el momento en que se deshecha. De este modo se pueden comparar los impactos medioambientales de diferentes materiales (por ej. PVC, PET) o de diferentes sistemas (por ej. embalajes de un solo uso o reutilizables), utilizados con un mismo propósito (por ej. embotellado de agua mineral).

BTU. Unidad de energía inglesa. Abreviatura de British Thermal Unit. Se usa principalmente en los Estados Unidos.

Una BTU equivale aproximadamente:

- 252,2 calorías
- 1.055 julios
- 1 BTU/h = 0.29307 Watts

Una BTU representa la cantidad de energía que se requiere para elevar un grado Fahrenheit la temperatura de una libra de agua en condiciones atmosféricas normales. Un pie cúbico de gas natural despiden en promedio 1.000 BTU

Cloruro de hidrógeno. Es un compuesto químico de fórmula HCl, formado por un átomo de cloro unido a uno de hidrógeno. A condiciones normales de presión y temperatura (CNPT) es un gas más denso que el aire. Es un compuesto tóxico, corrosivo, de olor picante y sofocante. En su forma anhidra, no ataca metales ni aleaciones. Pero en presencia de humedad produce vapores de ácidos que atacan a la mayoría de los metales exceptuando la plata, el oro, el platino y el tantalio. Es altamente riesgoso al contacto con la piel, los ojos y otras mucosas, y no se debe inhalar ni ingerirse disuelto en agua. No debe estar cerca del fuego ya que es inflamable.



Combustión: Es el proceso de conversión térmica de la materia orgánica con un agente oxidante (normalmente oxígeno) para producir fundamentalmente dióxido de carbono (CO₂) y vapor de agua. Se produce con un exceso de agente oxidante (oxígeno o aire), generalmente superior al estequiométricamente necesario.

La materia alcanza la oxidación completa.

Convenio de Estocolmo. Persigue la eliminación progresiva de los Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs). El principio de precaución y sustitución de estas sustancias es la medida prioritaria que propone el Convenio para lograr este objetivo, tanto para los COPs generados de forma intencionada como no intencionada.

Los pasos recogidos en el Convenio para eliminar los COPs son:

1.- Asegurarse de que no se generen nuevos productos químicos con propiedades de contaminantes orgánicos persistentes y de que no se abran nuevas instalaciones que generen y liberen COPs de forma no intencionada.

2.- Una vez que se evite la liberación al medio ambiente de los COPs, el Convenio centra la atención en la eliminación progresiva de los COPs, que están incluidos en la "Docena sucia":

- Dioxinas y furanos
- Hexaclorobenceno
- PCBs
- DDT
- Aldrina, Dieldrina y Endrina
- Clordano
- Heptacloro
- Mírex
- Toxafeno



DCE : Dicloroetano, es la sustancia intermedia para la fabricación del PVC. Se obtiene directamente mediante cloración del etileno o por oxiclорación, cuando la mezcla de ácido clorhídrico, oxígeno y etileno, son transformadas a DCE + agua, por el catalizador de cobre. El ácido clorhídrico se puede obtener del cracking de DCE para formar VCM, mediante un proceso externo o mediante la incineración de desechos clorados.

Dioxinas y furanos. Son contaminantes orgánicos persistentes, creados en la combustión de residuos peligrosos que contengan cloro (presentes comúnmente en solventes y plásticos por ejemplo), y tienen cuatro características: son muy tóxicos, pueden provocar efectos crónicos graves, principalmente cáncer y otras afectaciones del sistema endocrino, y repercutir en la pérdida de fertilidad, afectar el sistema inmunológico y alterar el desarrollo de los fetos en el ser humano y animales. Son también persistentes: su vida media varía de 9 a 15 años en la superficie del suelo. Son también bioacumulables: Se concentran en los tejidos grasos, aumentando su concentración en la medida que subimos en la cadena alimenticia, por lo que las mayores concentraciones las recibe el ser humano y finalmente los niños, cuando la leche materna está también contaminada. Los contaminantes pueden recorrer grandes distancias lejos de su lugar de origen, a través de las corrientes de aire y depositarse sobre el agua, suelo, y pasar a las cosechas y plantas o acumularse en peces y animales, incluyendo carne, leche y huevos; y pasar al ser humano cuando son ingeridos.



Etileno/propileno : Se obtiene a partir del craking de LPG o nafta, los cuales dan respectivamente el 90% ó 70% del rendimiento del etileno y propileno. Los residuos son ligeras cantidades de benceno, butadieno y PAH's. El benceno y el butadieno son usados para otros casos, las fracciones pequeñas son mezcladas con petróleo y las PAH's son incineradas. El etileno tiene muchas aplicaciones, principalmente para fabricar diferentes plásticos.

Fracción Resto. Consiste en el resto de papel, cartón, textiles y plásticos de baja calidad. Aunque también algunas son susceptibles de recuperación y reciclaje, su principal característica es su alto Poder Calorífico y por tanto es el que debe ser sometido a Valorización energética, pues además es el que mayor volumen de vertedero ocupa por su baja densidad y dificultad de compactación.

Gasificación: Es el proceso de conversión térmica de la materia orgánica a elevada temperatura y en condiciones reductoras para producir fundamentalmente gases combustibles y, en menor medida, vapor de agua y compuestos condensables. Se utilizan diferentes tipos de agentes gasificantes: aire, aire enriquecido, aire más vapor de agua, aire más hidrógeno, aire más CO₂. El uso de uno u otro agente gasificante está en función del tipo de gas que se desea obtener (gas pobre o gas de síntesis), es decir, fin que se persigue, producción de energía o productos químicos.

La materia se oxida parcialmente para garantizar la energía necesaria para el desarrollo del proceso.



Hornos de lecho fluido. En este sistema, el horno está dispuesto verticalmente, los cuales alcanzan una altura aproximada de 15 metros. Estos incineradores tienen un lecho de arena, alúmina o carbonato de calcio. Estos son mezclados con las sustancias a incinerar, las que son forzadas a través de los lechos mediante inyección con aire. Esto permite un buen mezclado con el exceso de aire alcanzando temperaturas de alrededor de 900°C, los cuales tienen una eficiencia térmica superior a la de los hornos rotatorios. Los gases de combustión pasan a una segunda cámara para completar el proceso de incineración. Estos hornos son empleados exclusivamente para residuos líquidos o barros, lo que le quita versatilidad a su empleo.

En USA y en Europa se han desarrollado procesos de pirólisis térmica en reactores rotatorios y de lecho fluidizado. Esta última es la tecnología más desarrollada debido a que los lechos fluidizados ofrecen condiciones muy adecuadas para:

- 1) Elevar la capacidad de transporte de calor y de materia entre fases, lo que reduce la energía requerida en un proceso que es fuertemente endotérmico.
- 2) Hacer mas uniforme la temperatura a través de un régimen isoterma
- 3) Reducir el tiempo de contacto de los productos primarios de pirólisis (entre varios segundos y 1,5 min frente a los 20 min de los reactores rotatorios), lo que minimiza las reacciones secundarias de los productos primarios de la pirólisis ofreciendo como consecuencia una mayor uniformidad del producto.



Incinerar. Es cualquier proceso para reducir el volumen y descomponer o cambiar la composición física, química o biológica de un residuo sólido, líquido o gaseoso, mediante oxidación térmica, en la cual todos los factores de combustión, como la temperatura, el tiempo de retención y la turbulencia, pueden ser controlados, a fin de alcanzar la eficiencia, eficacia y los parámetros ambientales previamente establecidos. La mala regulación de uno de estos parámetros puede generar condiciones inadecuadas de funcionamiento.

Laminados: Son envases formados por capas de varios materiales, que alcanzan propiedades que no sería posible conseguir con uno solo. Por ejemplo, el envase tipo íbrikî es un laminado de PE, aluminio y cartón. El PE es químicamente inerte, el aluminio lo hace ligero al 100 % y hermético a los gases y el cartón le da la rigidez y capacidad necesaria para poder estampar una impresión.

Nafta. Hidrocarburo líquido, incoloro, volátil y muy inflamable que se obtiene de la destilación del petróleo crudo o de la hulla y se emplea como disolvente industrial.

Lecho fluidizado Se da el nombre de fluidización al proceso de contacto que ocurre entre un sólido y un fluido (gas o líquido) en el cual el lecho formado por partículas sólidas finamente divididas se levanta y se agita por medio de una corriente ascendente de fluido. Se puede usar para secar productos en muchas industrias incluyendo las de alimentos, productos químicos, minerales y polímeros. La gama de materiales alimentados puede ser muy diversa como polvos, cristales, gránulos y esferas pequeñas.

Esta tecnología también se puede usar para aplicaciones de enfriamiento, en unidades individuales o combinadas con el secado en una sola cama zonificada.



Monóxido de Carbono (CO). Es un gas incoloro, inodoro e insípido. No es irritante, pero es muy venenoso, es un gas incoloro, inodoro e insípido.

Óxido de azufre. El óxido de azufre (IV) o **dióxido de azufre** cuya fórmula es SO_2 es un gas incoloro con un característico olor asfixiante. Se trata de una sustancia reductora que con el tiempo y en contacto con el aire y la humedad se convierte en trióxido de azufre. La velocidad de esta reacción en condiciones normales es baja. En agua se disuelve formando una disolución ácida. Puede ser concebido como el anhídrido de un hipotético ácido sulfuroso H_2SO_3 . Esto —en analogía a lo que pasa con el ácido carbónico— es inestable en disoluciones ácidas pero forma sales, los sulfitos y bisulfitos.

Óxidos de nitrógeno. Se aplica a varios compuestos químicos binarios gaseosos formados por la combinación de oxígeno y nitrógeno. El proceso de formación más habitual de estos compuestos inorgánicos es la combustión a altas temperaturas.

El monóxido de nitrógeno y el dióxido de nitrógeno constituyen dos de los óxidos de nitrógeno más importantes toxicológicamente; ninguno de los dos es inflamable.

El monóxido de nitrógeno es un gas a temperatura ambiente de olor dulce penetrante, fácilmente oxidable a dióxido de nitrógeno. Mientras que el dióxido de nitrógeno tiene un fuerte olor desagradable. El dióxido de nitrógeno es un líquido a temperatura ambiente, pero se transforma en un gas pardo-rojizo a temperaturas sobre los $21\text{ }^\circ\text{C}$.

Los óxidos de nitrógeno son liberados al aire desde el escape de vehículos motorizados, de la combustión del carbón, petróleo o gas natural, y durante procesos tales como la soldadura por arco, galvanoplastia, grabado de metales y detonación de dinamita. También son producidos comercialmente al hacer reaccionar el ácido nítrico con metales o con celulosa.



PAH's: Es un producto intermedio muy perjudicial, que se obtiene de la combustión y que aparece en grandes cantidades en el crudo. Únicamente unos pocos microgramos por litro de agua de mar son suficientes para causar problemas de crecimiento del plancton. Muchos de los PAH'S son sustancias altamente cancerígenas. Son sustancias estables y presentan la tendencia a acumularse en la cadena de los alimentos.

"Peer review" : Es un análisis científico realizado por investigadores independientes, los cuales verifican que no se hayan cometido errores metodológicos. Normalmente, no hacen comentarios acerca de los valores encontrados, exceptuando los errores evidentes.

Recuperación. Proceso para extraer materiales: papel, cartón, plástico, vidrio, metales ferrosos y no- ferrosos, textiles y orgánicos del flujo de desperdicios sólidos para reintegrarse a la cadena de uso.

Reutilización. Utilizar un producto para un fin distinto al que tuvo originalmente.

VCM : Monómero del cloruro de vinilo. Es la principal sustancia empleada para fabricar PVC. Es un derivado del cracking de DCE (dicloruro de etano). El ácido clorhídrico restante se puede utilizar de nuevo en el proceso y el resto (2,5 % de alquitranes) se incinera.

APÉNDICE A

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA MAQUINARIA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS PLÁSTICOS

1. Prensas hidráulicas

Tamaño de paca	60" x 30" x 43"
Peso de paca en PET	200 / 250 Kg.
Producción aproximada (pacas * hora)	1 a 1.5
Fuerza de platina	100 Ton.
Presión en platina	130 lbs / pulg ²
Motor	30 HP
Tolva Incluida para carga trasera	Frente: 50" Altura: 19"

2. Bandas Ascendentes

- Motor eléctrico 1.5 kW
- Largueza aproximadamente 900 mm
- Longitud aproximadamente 7000 mm

3. Guillotina P-100

- Fuerza máxima de cortar 100 t
- E-Motor 36.8 kW
- Sistema hidráulico y 1 cilindro hidráulico
- Capacidad del contenedor de aceite - approx. 500 l, con indicadores de nivel ed intercambiador de calor
- Fuerza de cortar [t] de 100
- Potencia 36.8 [kW]
- Dimensiones 4750 x 1850 x 2100
- Abertura de cortar 1300 x1100 mm

4. Sistema de Lavado y Trituración ML 1400®

Producción (depende del material)	400-600 [kg/h]
PET – botellas	800-1000 [kg/h]
Potencia	160 [kW]
Rotor RPM	970 [RPM]
Diámetro bote	1400 [mm]
Bote involucro externo	INOX AISI 304
Bote interno intercambiable	INOX AISI 304
Bomba agua	3 [kW]
Capacidad bomba agua	250 [l/min]
Medidas principales	4.0 x 1.7 x 2.5 [m]
Ventilador	5.5 [kW]
Puerta descarga hidráulica	1.1 [kW]

5. Tina de flotación

Potencia Instalada [kW]	acc. diseño detallado
Longitud / Amplitud de la Tina [m]	ca. 9.5 or 12.0 x 2.0
Volumen Agua [m ³]	ca. 10 - 15
Agua en Circuito cerrado [lit./min]	200
Producción [t/h] depende del material y del grado de suciedad	ca. 1.5 – 2.0

6. Secador Centrifugo para plástico molido

Especificaciones Técnicas:

Tanque externo en plancha de acero al carbono mínimo de 3/16” de espesor;

Tanque interno en lámina de acero inoxidable mínimo de 3 mm de espesor;
totalmente perforada;

Motor trifásico mínimo de 12 HP, 200 V, 1750 RPM;

Arrancador directo;

Sistema de aire caliente

Rodamientos mínimo con tecnología “IT” que soporten carga radial y angular;

Rendimiento mínimo de 80 a 110 kilos/hora.

Acabado interno mínimo con pintura antidesgaste.

7. Secadora térmica de doble fluido

Potencia	18 [kW]
Length ca.	2 [m]
Width ca.	2 [m]
Height ca.	5 [m]
Ventiladores	3 [kW]
3 Gear-locks	
1 static dust-filter	

8. Extrusora TR 160

Motor	300	[kW]
Diámetro hélice	160	[mm]
Utilizable L/D	1 / 37	
Potencia calefacción	103	[kW]
Número de ventiladores de enfriamiento por cilindro	6	
Potencia por ventilador de enfriamiento	0.55	[kW]
Capacidad tolva de carga	840	[lit]
Aceite engranaje	90	[kg]
Capacidad hélice a abertura final abierto	12.5	[kg/U]
Número degazajes	1	
Producción depende de material y RPM de hélice	800-1,500	[kg/h]

Cambiador filtro manual hidráulico

Planta hidráulica	incluido	
Motor	7.5	[kW]
Diámetro plancha para montaje filtro	250	[mm]

Cortaje vertical Sistema JUMBO 800

Potencia testa calefacción	12	[kW]
Motor Centrifuga	7.5	[kW]
Ventilador Ciclón Aspiración	0.55	[kW]

9. Silo cerrado con cinta de transporte para almacenaje para películas y flakes

Datos Técnicos

- 3 motores eléctricos cada 1.5 kW
- Anchura apr. 900 mm
- Longitud apr. 6000 mm
- Volumen apr. 20 m³

10. Banda con Células para Sospesar

Datos Técnicos

- Motor eléctrico 1.5 kW
- Largueza aproximadamente 900 mm

Longitud aproximadamente 6000 mm

11. Densificador D-1500

Componentes:

- Escape para el aire húmedo.
- Vasija coleccionadora con bomba de recirculación de alta capacidad.
Filtre para partículas de plástica, intercambiador de calor
- Motor eléctrico con centro de control.
- Grupo densificador con sistema de purificación vapor
- Tolla aspiración columna
- Potencia 430 [KW]
- Procesa 1200 KG/Hrs

12. Silo mezclador MI 20 para material densificado o homogeneizado

Construcción de acero recio. El tubo central para el caracol de transporte tiene un espesor de pared importante para acertar la estabilidad de la estructura.

- Capacidad aprox. 20 m³
- Motor 20 kW
- Transmisión con V- cintas (con caja de protección)
- Caracol de transporte colocada en posición central (Diámetro 300 mm), parcialmente en tubo, con 2 cojinetes a rulos.
- El tubo guía para el caracol tiene 3 aberturas: por abajo para la carga del material, por arriba para la descarga interna del material, al centro para la descarga del silo
- Por la parte inferior del silos son colocados:
- La tolva de carga con red de protección
- La abertura de descargamento del material
- Una puerta para la limpieza para el caracol con un dispositivo de protección eléctrico de cerradura.
- Una puerta para hombre para inspección del silo, cerrada con un dispositivo de protección eléctrico
- Controlo de nivel con vidrio de inspección y control automático del nivel máximo
- Armario eléctrico

13. Sistema Automático de Densificación

Los parámetros principales de control son indicados sobre la pantalla de la computadora:

- Peso del material por relleno (cinta para pesar)
- Temperatura del material durante el proceso (telemetría con Pyrometro)
- Temperatura de los componentes mas importantes
- Alarmes

BIBLIOGRAFÍA

- Evolución científica y metodológica de la economía, Gómez L. Roberto, España 2006
- VELASCO, Ballano Oriol, Miguel, Velilla. *Electrónica de regulación de control y potencia*.
- STEVENSON. *Análisis de Sistemas Eléctricos de Potencia*. Ed. Mac Graw Hill. Primera Edición, Pág, 31-34.
- CHAPMAN, Stephen J. Máquinas Eléctricas. Ed. Mac Graw Hill, 1992.
- CHIPMAN. Líneas de Transmisión. Ed. Mac Graw Hill.
- CASTELLS XAVIER E., Tratamiento y Valorización Energética de los Residuos Sólidos, Edit Ediciones Díaz Santos, España 2005
- Revista Iberoamericana de Polímeros Volumen 5(1), Marzo de 2004 Arandes et al. Reciclado de residuos plásticos

- <http://home.scarlet.be/chlorophiles/Es/PVCLCA.Es.html>
Consultada el 15 de octubre de 2007

- http://centros6.pntic.mec.es/cea.pablo.guzman/lecciones_fisica/ahorro_energetico.htm,
Consultada el 23 de Octubre de 2007

- <http://www.monografias.com/trabajos16/reciclaje-residuos/reciclaje-residuos.shtml>,
Consultada el 31 de Octubre de 2007

- <http://www.navarini.com/>
Consultada el 23 de Noviembre de 2007

- <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/>
Consultada el 27 de Diciembre de 2007

- <http://www.ciwmb.ca.gov/BizWaste/Baxter/EnviroImpact.htm>
Consultada el 31 de Diciembre de 2007
- <http://www.idefomm.org/municipios/08.htm#00>
Consultada el 31 de Diciembre de 2007
- <http://www.monografias.com/trabajos23/residuos-petroquimica/residuos-petroquimica.shtml>
Consultada el 2 de enero de 2008
- www.istas.net/portada/cops6.pdf
Consultada el 28 de Agosto de 2008
- <http://www.ecorecursos.es/shop/spanish/luz/>
Consultada el 28 de Agosto de 2008