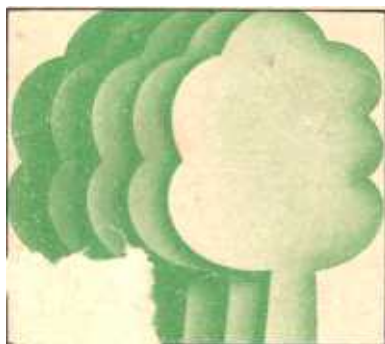


o Muñoz Sánchez

Residuos sólidos plásticos

Tratamiento y reciclado



CUADERNOS DEL
CIFTA

LA
ESTO.
EN
COMA

N-7-w 00/50

Lib/1-4

12/11/2002
ario: 00143

EL CIFCA Y SUS C ADERNOS

La creciente toma de conciencia a lo largo de los últimos decenios sobre la gravedad de los problemas del medio ambiente culminó en la Asamblea General de las Naciones Unidas y en su decisión de convocar una conferencia mundial que se abocase a ellos. Reunida en Estocolmo en 1972, dicha conferencia consideró necesario establecer el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), y desde 1973 —año en que se creó el organismo— han tomado gran impulso los esfuerzos nacionales e internacionales en materia medioambiental.

En los países económicamente más desarrollados existe gran preocupación por controlar el continuo deterioro del medio ambiente provocado por el acelerado proceso de industrialización y la gestión inadecuada de sus recursos naturales. Esa misma preocupación se da en los países en vías de desarrollo, en los que la calidad de la vida va estando agudamente afectada por idénticas causas, con el agravante de que han de hacer frente a este problema desde su condición de naciones subdesarrolladas.

En estos últimos países —entre los que cuentan los de América Latina— se va haciendo cada vez más patente la posición de que no debe haber conflicto entre el desarrollo que necesitan y los problemas de medio ambiente que están padeciendo. Por ello toda acción ambiental en esos países, lejos de desvirtuar el compromiso adquirido en favor del desarrollo, debe incorporar al proceso perspectivas, energías y recursos nuevos, junto con una nueva dimensión cualitativa. Así ha sido reconocido en distintos foros internacionales recientes en la región latinoamericana, y muy especialmente —en el plano general—, en las reuniones del Consejo de Administración del PNUMA.

El asedio a todos estos problemas ha puesto de manifiesto una cuestión verdaderamente crucial para resolverlos: la carencia de profesionales capacitados tanto en las administraciones del Estado como en las corporaciones provinciales y en las empresas privadas. De aquí que se hayan comenzado a establecer programas de formación ambiental en diversas universidades y centros de investigación y estudio.

Desde su creación, el PNUMA ha prestado atención preferente a este tema, cuya importancia y urgencia a nadie se oculta, y el Consejo de Administración consideró a fondo la idea de fomentar el establecimiento de instituciones destinadas a satisfacer esa necesidad en diversas naciones del mundo, otorgándoles la cooperación técnica y financiera necesaria.

El Gobierno de España propuso oportunamente al Consejo la creación en Madrid de un centro internacional de capacitación en materia de medio ambiente destinado a los países de habla española y ofreció una importante contribución financiera y técnica para su establecimiento. El PNUMA acogió con gran beneplácito esta propuesta y, de común acuerdo con el Gobierno español, se diseñó un proyecto que estableció en octubre de 1975 el Centro Internacional de Formación en Ciencias Ambientales (CIFCA).

Comenzadas sus actividades en mayo de 1976, el CIFCA ha organizado cursos y seminarios en su sede de Madrid, así como en distintas capitales

latinoamericanas en colaboración con otros organismos internacionales e instituciones nacionales. Dado que, por las características de sus programas, en estas actividades participan normalmente no más de treinta o cuarenta profesionales, la Dirección del CIFCA decidió a finales de 1977 iniciar la publicación de conferencias y otros materiales relacionados con sus cursos a fin de que su esfuerzo de formación tuviera la mayor difusión y pudieran aprovecharse sus resultados en los medios universitarios y de investigación de los países de habla española.

Se ha querido denominar *cuadernos* a estas publicaciones del CIFCA por varias razones, a las que no es ajeno un sentido de modestia y de rigor científico. Aparte servir con más agilidad y prontitud los propósitos de divulgación y difusión que persiguen, los cuadernos pueden ir recorriendo sobre la marcha, casi al mismo ritmo de los cursos, la labor realizada por el CIFCA. De otro lado, los cuadernos ponen de manifiesto por sí mismos el carácter experimental que todavía tienen los estudios medioambientales. Y las aproximaciones que a estos temas nuevos están haciendo los profesores y expertos del CIFCA se reflejan mejor y más sencillamente en las páginas de un cuaderno destinadas a recoger unos apuntes y notas de clase o una serie de conferencias, que con la publicación más ambiciosa —y sin duda prematura todavía— de un libro, empresa que tiene siempre un carácter definitivo.

Así, pues, en estos cuadernos se han venido ofreciendo —en ocasiones hasta en forma provisional deliberada, por tratarse de anticipos de investigaciones todavía en marcha— los resultados de la labor de capacitación que lleva a cabo el CIFCA. Con todo, y señaladas ya sus características generales, esta publicación aspira a poner a disposición de los estudiantes y estudiosos del tema —y del público en general— las aportaciones con que el CIFCA va contribuyendo a la dilucidación y el análisis de los problemas del medio ambiente, uno de los desafíos más apasionantes que tiene planteados el hombre de nuestros días en función del desarrollo y de la calidad de la vida presente y futura.

CUADERNOS DEL CENTRO INTERNACIONAL
DE FORMACION EN CIENCIAS
AMBIENTALES (CIFCA)

19

Con destino a sus cursos y para el público especializado, el CIFCA acoge entre sus cuadernos el presente texto sobre tratamiento y reciclado de residuos sólidos plásticos de que es autor don Alberto Muñoz Sánchez, doctor en Ciencias Químicas y Jefe del Servicio de Medio Ambiente de ALCUDIA, Empresa para la Industria Química, S. A., de Madrid.

Alberto Muñoz Sánchez

Residuos sólidos plásticos

Tratamiento y reciclado



CIFCA
MADRID
1980

La secretaría del Centro Internacional de Formación en Ciencias Ambientales (CIFCA) prepara sus propias publicaciones. Las opiniones firmadas expresadas en los cuadernos —incluidas las de los funcionarios del CIFCA— son las de los autores y no reflejan necesariamente los puntos de vista de la organización.

Edita:

Centro Internacional de Formación de Ciencias Ambientales (CIFCA)
Serrano, 23, 1.º Madrid-1

Depósito legal: M. 31.315-1978 - I. S. B. N.: 84-500-2843-4

Compuesto en Fernández Ciudad, S. L.

Impreso en Gráficas Reunidas, S. A. - Av. de Aragón, 56 - Madrid-27

NDICE

	<i>Página</i>
<i>Prólogo de María Teresa Esteven Bo</i>	9
<i>Introducción</i>	3
<i>Importancia de los materiales plásticos</i>	
2. <i>Definición de términos</i>	19
<i>Los plásticos y su uso ...</i>	
a) Resinas termoplásticas	
b) Resinas termoestables	23
4. <i>Residuos sólidos</i>	24
a) Residuos sólidos urbano	24
b) Residuos sólidos industrial	28
<i>Residuos sólidos plásticos</i>	29
a) Procedencia de los residuos plásticos	29
b) Composición de los residuos plásticos	30
c) Tendencias futuras en la composición	32
d) Separación de plásticos a partir de los residuos sólidos urbanos	
i) Separación a partir de los residuos urbanos brutos ...	
ii) Separación de los plásticos entre sí según su naturaleza	
e) Recolección selectiva	39
f) Consideraciones sobre la operatividad de los procesos de separación	40

	<i>Páginas</i>
6. <i>Procedencia de los residuos plásticos industriales</i>	41
7. <i>Razones para el reciclado</i>	43
a) Razones económicas	43
b) Razones de ahorro de materias primas y energía	44
c) Razones de tipo ecológico	44
8. <i>Reutilización</i>	46
9. <i>Factores limitantes del reciclado</i>	47
a) Degradación y reticulación	47
b) Incompatibilidad entre las materias plásticas	47
c) Contaminación de los residuos	50
10. <i>Reciclado primario</i>	51
a) Reciclado primario de polietileno	51
b) Reciclado primario de poliestireno	55
c) Otros reciclados	56
<i>Reciclado secundario</i>	57
a) Reciclado secundario de residuos plásticos industriales	58
b) Reciclado secundario de residuos plásticos urbanos ...	61
12. <i>Reciclado terciario</i>	64
a) Reciclado energético	64
i) Incineración	64
ii) Pirolisis	67
b) Reciclado químico	72
i) Hidrolisis	72
Hidrolisis de espumas de poliuretanos	72
Hidrolisis de residuos de poliamidas	73
ii) Obtención de monómeros	75
iii) Cracking	75
<i>Referencias</i>	77

PROLOGO

Me es particularmente grato presentar este trabajo sobre el tratamiento y reciclado de los residuos sólidos plásticos, por dos razones. La primera, porque aborda un tema muy importante, que es el de la recuperación de subproductos y residuos sólidos, acercándose así a las pautas de producción y consumo que pienso se van a imponer en los próximos años, y la segunda, porque se refiere precisamente a los materiales plásticos, de los que —en su fase de residuos sólidos— se tiene un desconocimiento grande y bastantes ideas erróneas.

No es preciso insistir en lo que ha representado el empleo de las materias plásticas en el mundo industrializado. El siglo XX viene marcado, entre otros avances técnicos, por la revolución de los plásticos. Y no sólo es extraordinario el presente de estos materiales y sus manufacturas, sino que quizás es más importante su futuro.

Pero toda producción lleva consigo la generación de unos subproductos o desechos y, a su vez, el consumo origina unos residuos, ya sean industriales o urbanos. Esto sucede con los plásticos y con los otros materiales, lo que conduce a un constante crecimiento de la cantidad de basuras y desechos y de los problemas que plantea el depósito incontrolado de los mismo.

El problema de los residuos sólidos tiene dos vertientes, una de carácter estrictamente ambiental y otra de tipo socioeconómico,

Los aspectos ambientales relacionados con los residuos plásticos, especialmente las manufacturas destinadas a envases, tuberías o láminas de plásticos flexibles, se centran en el deterioro del medio ambiente producido

por el abandono y dispersión de las citadas manufacturas —una vez utilizadas— por carreteras, montes, playas, bosques, lagos, riberas de los ríos, vías del ferrocarril, parques, jardines y por las propias calles de las poblaciones. Esta presencia de desperdicios por cualquier parte incluye todo tipo de manufacturas y materiales, pero los elementos más visibles son los plásticos, porque son ligeros y se dispersan e identifican fácilmente.

Y, sin embargo, los plásticos son productos inertes, que no contaminan el suelo, ni el agua, ni el aire, aunque sí alteran la estética y producen una enorme sensación de desidia y abandono en los lugares por los que están esparcidos, junto con los otros componentes de las basuras, como los papeles, envases de aluminio, latas de hojalata, frascos o botellas de vidrio y residuos alimentarios.

Este problema ambiental se debe a una deficiente educación ciudadana, originada posiblemente por un desconocimiento de los efectos que produce un comportamiento inadecuado, y, en definitiva, por una falta de conciencia ambiental.

En la vertiente socioeconómica cabe destacar el potencial económico que existe en la recuperación de materiales o energía contenidos en los residuos sólidos de las manufacturas de plástico. Este amplio campo de reciclado tiene grandes posibilidades y ante él se presentan una gama amplísima de nuevas tecnologías.

Este importante capítulo de la reutilización de los plásticos, aprovechando los materiales o la energía contenida en los mismos, es el que desarrolla Alberto Muñoz Sánchez de forma muy concreta. El autor analiza las características y ampliaciones de las resinas termoplásticas y de las termoestables; la presencia y contenido de los diferentes plásticos en los residuos sólidos, las tendencias que se perciben sobre su composición, las técnicas de separación, tratamiento y aprovechamiento, tanto en el caso de los residuos sólidos urbanos como en los industriales.

Presenta muy bien delimitados los tratamientos de reciclado primario, secundario y terciario y ha conseguido sintetizar en pocas páginas todo un tratado sobre esta importante materia.

El reciclado, tanto de los plásticos como de otros materiales contenidos en las basuras, tiene un gran futuro, ya que viene impuesto por el nuevo

concepto de gestión de los residuos que tiende hacia la consecución de los siguientes objetivos: conservación y ahorro de los recursos naturales, incluyendo naturalmente la energía; disminución del volumen de residuos que hay que eliminar, y protección del medio ambiente.

Hasta hace pocos años, el costo de la recuperación de materiales o energía no era competitivo, pero actualmente los factores de producción han evolucionado e incluso ha cambiado el enfoque de la rentabilidad imponiéndose cada vez más el reciclado de los diferentes recursos.

En este sentido, el trabajo de Alberto Muñoz Sánchez es una excelente contribución a estos fines.

MARÍA TERESA ESTEVAN BOLEA
Directora General del Medio Ambiente

INTRODUCCION

Como consecuencia de la preocupación general por los temas del medio ambiente, y por los crecientes costes y disponibilidad de las materias primas, se está produciendo en todo el mundo una intensificación de los estudios que pretenden examinar y valorar las posibilidades de aprovechamiento de los residuos plásticos.

Estas investigaciones y desarrollos buscan procesos que reduzcan el volumen de dichos residuos, posibiliten su reciclado de forma sistematizada y, cuando esto no sea factible, que los conviertan en energía.

El presente trabajo tiene por objeto presentar la situación actual y real de estos estudios y desarrollos, así como de sus perspectivas futuras tanto técnicas como económicas. En él se estudian la diversa procedencia de los residuos plásticos, sus sistemas de separación y los diferentes procesos de reciclado primario, secundario y terciario.

IMPORTANCIA DE LOS MATERIALES PLASTICOS

La industria de fabricación de materiales plásticos, como otras jóvenes industrias, ha tenido un desarrollo espectacular desde su aparición. Así, por ejemplo, el consumo de materiales poliméricos en la Comunidad Económica Europea (CEE) pasó de 2 millones de toneladas en 1960 a más de 17 millones de toneladas en 1978.

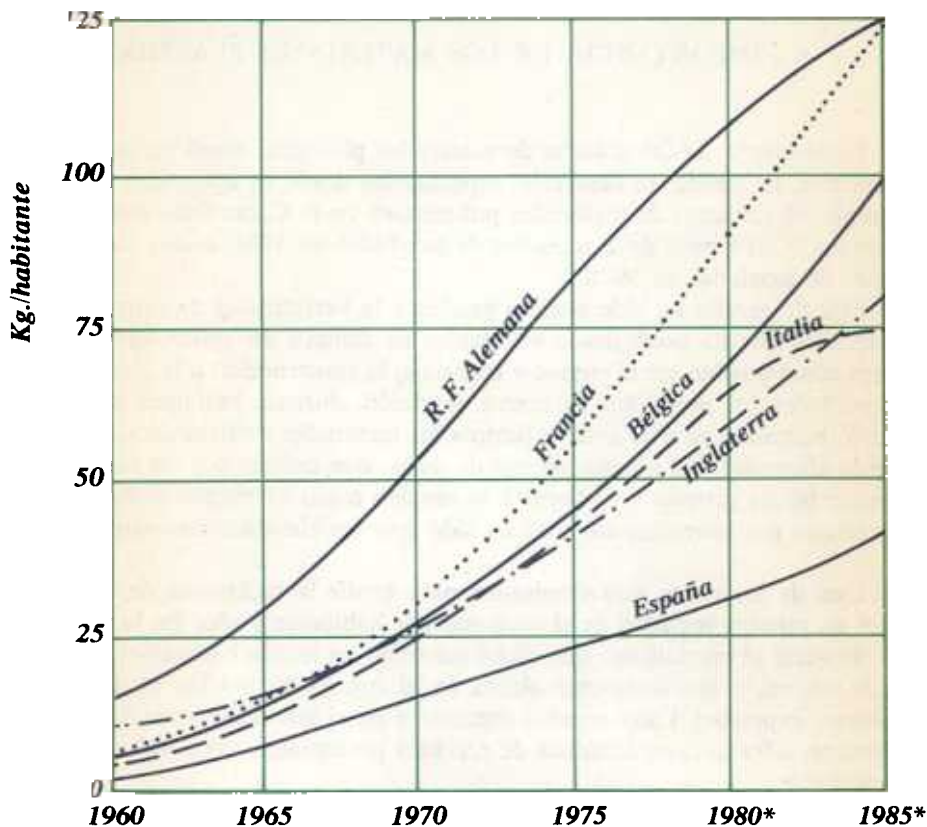
Este desarrollo ha sido posible gracias a la versatilidad de estos nuevos materiales que ha posibilitado su empleo en campos de aplicación tan dispares como puedan ser el envase y embalaje, la construcción o la electrónica. Como todos los productos de nueva aparición, durante bastantes años han estado buscando su sitio entre y junto a los materiales tradicionales. Hoy día puede afirmarse, sin ningún género de duda, que debido por un lado a sus características propias y por otro a su empleo como excelentes sustitutos de materiales tradicionales, ese sitio ha sido irreversiblemente conseguido.

Uno de los ratios más empleados para medir la incidencia de los plásticos en nuestra sociedad es el consumo por habitante y año. En la figura 1 puede verse el crecimiento que dicho consumo ha tenido hasta nuestros días y su tendencia medianamente alcista en el futuro. El gráfico es de por sí bastante expresivo. Cada español consumirá en el año 1980 unos 31 Kg. de plásticos, cifra que, en términos de residuos potenciales, tiene un valor muy importante.

Queda clara, pues, la incidencia de los plásticos en nuestro mundo y por ende en los residuos sólidos. Ahora bien, como es sabido, no todos los objetos de plástico que se utilizan van a parar a los residuos urbanos.

En la figura 2 se hace un desglose de los diferentes sectores en que se aplican los materiales plásticos. Cabe apreciar cómo la mayor parte van a aplicarse en el sector del envase y embalaje. Le siguen a continuación los sectores de la construcción y la electricidad y, a más distancia, los sectores del automóvil, el menaje y la agricultura. De conformidad con los estudios realizados sobre el particular, en los residuos sólidos urbanos encontraremos

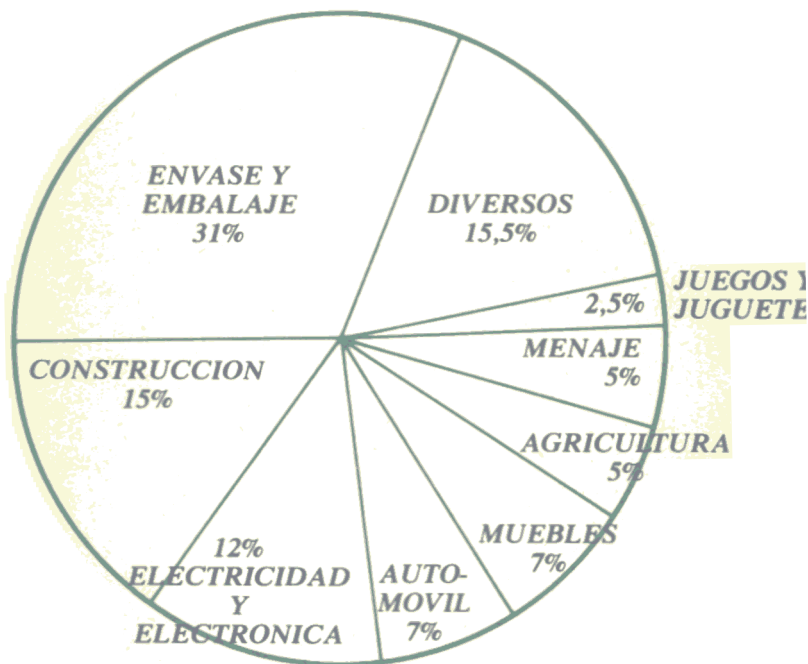
CONSUMO DE MATERIALES PLASTICOS POR HABITANTE EN KG./AÑO.



(*) Estimaciones

Fuentes: UCB-SIDAD, ANAIP

SECTORES DE APLICACION DE LOS MATERIALES PLASTICOS (*)



(*) Estimaciones a partir de datos proporcionados por ANAIP

la mayoría de ellos son productos de aplicación predominantemente de corto o medio plazo. Por el contrario, la procedencia de los residuos plásticos industriales es muy heterogénea y responde más a las técnicas de producción de los materiales plásticos que a su aplicación.

Una gran parte de los plásticos tardarán varios años —en muchos casos decenas de años— en ser desechados como residuos. Nos referimos concretamente a los materiales plásticos empleados en la construcción, el automóvil y la electrónica. Forman parte de los llamados bienes duraderos y su presencia en los residuos urbanos es esporádica e impredecible.

Finalmente, una escasa proporción de los envases quedará formando parte de las llamadas «basuras salvajes», que este trabajo no ha tenido en cuenta por su problemática diferente.

DE INICION DE TERMINOS

La gran diversidad de procesos utilizados en el tratamiento de los residuos sólidos plásticos hace aconsejable dedicar una parte de este trabajo a la definición de términos.

Scraps o recortes:

Es el término general que se usa para describir cualquier material de desperdicio que se origina en la fábrica durante un proceso de producción o transformación de un plástico.

Residuos plásticos:

Describe a los materiales recuperados después de su uso para ser destinados a un posible reciclado.

Reutilización

Describe el caso en el que un artículo ya fabricado es recuperado para uso posterior en su forma original. Ejemplos típicos son las cajas para botellas, bolsas de asas y la reutilización de sacos de fertilizantes como bolsas para recoger basuras y desperdicios agrícolas.

— Reprocesado:

Cubre las operaciones de recuperación en las que los recortes o *scraps* producidos en las plantas durante los procesos de producción o transformación se vuelven a alimentar en el sistema de tal modo que son usados como una parte de la materia prima.

Describe cualquier proceso en el que los artículos fabricados se recuperan y tratan de tal manera que se produce con ellos un producto útil. Las diferentes operaciones de reciclado se pueden clasificar como sigue:

- **Reciclado primario**

En este reciclado el material se reprocesa a la misma aplicación del artículo original. Por ejemplo: discos de gramófono sin vender que se reciclan a discos nuevos, o la conversión de cajas de botellas sin utilizar a otras nuevas.

- **Reciclado secundario**

En este tipo de reciclado el material recuperado se reprocesa para dar un objeto que difiere del original. Los objetos producidos de este modo poseen propiedades físicas peores que las que tenía el objeto originariamente. Ejemplos de este reciclado son postes obtenidos de mezclas de residuos plásticos.

Reciclado terciario

Es el caso de los residuos plásticos cuando se convierten a productos no plásticos, tales como aceites, ceras, grasas, monómeros o energía. Existe, por lo tanto, un reciclado a energía, un reciclado químico, etc.

— **Producción de plásticos**

Se refiere a la producción de los polímeros en forma de granza o polvo a partir de los monómeros. Ejemplo: producción de polietileno, policloruro de vinilo, etc.

Transformación de plásticos

Describe los diferentes procesos mediante los cuales «se da forma» a los polímeros o plásticos. Por ejemplo: la transformación de granza de polietileno en una tubería o en una botella.

3. LOS PLÁSTICOS Y SU USO

La gran variedad de plásticos y, sobre todo, la amplitud de sus aplicaciones hacen conveniente una somera descripción de los mismos, así como de sus usos principales para poder entender los diferentes procesos de tratamiento y reciclado.

Los plásticos se pueden dividir a *grosso modo* en dos clases principales: resinas termoestables y resinas termoplásticas.

Resinas termoestables:

Se caracterizan por el hecho de que, durante su fabricación, se produce en ellas un cambio químico, o una reacción de entrecruzamiento, para dar lugar a productos que no son capaces de ser fundidos de nuevo y en los que su estructura química ha sido modificada de forma sustancial. Por esta razón, los plásticos termoestables no pueden ser considerados normalmente como susceptibles de reciclado. Ejemplos: resinas de fenol/formaldehído, urea/formaldehído, poliésteres, etc.

Resinas termoplásticas:

Se caracterizan porque durante su fabricación y transformación sus propiedades permanecen prácticamente sin cambiar y por ello son susceptibles de ser reutilizadas como materia prima en las operaciones de transformación. Ejemplos: polietileno, policloruro de vinilo, poliestireno, etc.

A continuación se describen las características y uso de los plásticos más corrientes y que pueden tener una mayor incidencia en los residuos.

a) *Resinas termoplásticas:*

Polietileno (PE)

Existen dos tipos:

- Polietileno de baja densidad (PEbd), relativamente flexible.
- Polietileno de alta densidad (PEad), más rígido que el PEbd.

Uso: láminas, sacos y bolsas, envases complejos, botellas flexibles y rígidas, utensilios de menaje, juguetes, aislamiento de cables, cajas, etc.

Polipropileno (PP)

Más rígido y ligero que el polietileno.

Uso: embalaje muy transparente (bolsas para alimentación y vestido), mobiliario, piezas de automóvil, tuberías, sacos de rafia, etc.

Poliestireno (PS)

Transparente y muy rígido.

Uso: pequeños recipientes para productos alimenticios (yogurt, huevos), espuma semirrígida para embalaje y aislamiento, tazas y bandejas, material transparente de iluminación, etc.

Policloruro de vinilo (PVC)

Material plástico duro o flexible según la cantidad de plasticante incorporado.

Uso del PVC rígido: botellas transparentes, film transparente para el embalaje, discos, guarniciones de automóvil, tuberías, etc.

Uso del PVC flexible: aislamiento de cables, pavimentos, suelas de zapato, tuberías, impermeables, cuero artificial, etc.

Acrlonitrilo-butadieno-estireno (ABS)

Material plástico resistente.

Uso: aparatos telefónicos, carcasas de electrodomésticos, accesorios automóvil, menaje doméstico, etc.

Acrílicos

Materiales duraderos y transparentes.

Uso: parabrisas, claraboyas, plafones, accesorios baño, etc.

Poliamidas (Nylon)

Uso: piezas industriales y eléctricas (engranajes, aspas, etc)

— Policarbonatos

Material muy resistente y transparente.

Uso: pantallas protectoras, biberones.

Politetrafluoroetileno (PTFE) (Teflon)

Material de gran resistencia química.

Uso: válvulas, bombas, cintas aislantes, juntas, recubrimientos, etc.

Las resinas termoplásticas son reciclables.

b) *Resinas termoestables*

Resinas a base de formaldehído

Fenol formaldehído (PF): bakelita.

Formaldehído urea (UF).

Formaldehído melamina (MF): formica.

Uso: recubrimientos de muebles, enchufes interruptores y otro material eléctrico.

Resinas epoxi y poliésteres insaturados

Uso: en combinación con la fibra de vidrio y otros componentes sirven para:

cascos de embarcaciones,
carrocerías de vehículos,
bañeras,
depósitos y piezas prefabricadas para la construcción

Poliuretano (PU)

Uso: mobiliario, colchones, aislamientos, etc

Las resinas termoestables no son más que recuperables como combustibles, excepto los poliuretanos que admiten un reciclado terciario de tipo químico.

4. RESIDUOS SOLIDOS

En las páginas anteriores se ha hecho un estudio de los principales sectores en los que se utilizan los plásticos. Este estudio, de algún modo, indica la procedencia de los residuos plásticos. Sin embargo, desde el punto de vista de su tratamiento, lo importante y eficaz es saber en qué clase de residuos y en qué proporción se encuentran.

El origen de los residuos es muy heterogéneo y difícil de sistematizar. Pueden clasificarse por su naturaleza, por su origen o por su lugar de producción. Desde el punto de vista de su procedencia podemos decir que los residuos sólidos plásticos están presentes en dos tipos principales de residuos:

- a) residuos sólidos urbanos, y
- b) residuos sólidos industriales.

a) *Residuos sólidos urbanos*

No se va a describir aquí la composición media de los residuos urbanos por considerar que sale de la finalidad de esta publicación. No obstante, sí conviene destacar las «tendencias» de la composición de residuos por estar relacionadas con los plásticos:

- disminución de los materiales fermentables, de las cenizas y de los finos;
- aumento de los materiales inertes;
- incremento de los materiales combustibles (envases y embalajes de cartón y plástico).

En efecto, como se aprecia en el cuadro 1, en que se recoge la evolución de las características de los residuos urbanos para la CEE, el contenido en

plásticos, expresado en tanto por ciento en peso, ha pasado del 1 % en 1960 al 3 % en 1970, con la previsión para 1980 del 6 %. Además de la evolución del contenido en plásticos, se puede constatar lo siguiente:

- i) la densidad de residuos tiende a disminuir, lo que se explica por el aumento importante de envases y embalajes ligeros y por la reducción de las cantidades de cenizas;
- ii) que la potencia calorífica era en 1960 unas 1.300 kcal/kg de basura, en 1970 subió a 1.600 kcal/kg y en 1980 se prevé que será de 2.300 kcal/kg. Este cambio se debe al aumento de los productos combustibles (papeles, cartones y, sobre todo, plásticos).

CUADRO 1

EVOLUCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS RESIDUOS URBANOS PARA LA CEE

Composición (% peso)	1960	1970	1980
Materiales plásticos	1	3	6
Metales	4	6	9
Vidrio	5	7	9
Papel y cartón	33	37	45
Arena, tierra, cenizas	40	32	18
Vegetales y restos alimentos	10	8	7
Diversos no clasificados	7	7	6
Densidad aparente en kg/dm ³	0,34	0,29	0,25
Potencia calorífica en kcal/kg	1.300	1.600	2.300

En el cuadro 1 se dan unos contenidos medios de materiales plásticos para la CEE, pero, como es lógico, estas cifras varían mucho de un país a otro, según se recoge en el cuadro 2, en que se puede observar que, con la excepción de los Estados Unidos e Italia, los países de alto consumo en plásticos producen igualmente altos porcentajes de residuos sólidos urbanos.

Es conocida la reluctancia existente en los Estados Unidos al uso de bolsas de plástico; se prefiere el uso de grandes bolsas de papel para realizar las compras. No obstante, discrepamos de este dato. En cuanto a la cifra de Italia, diferimos totalmente de su valor, puesto que ya en 1973 la composición de los plásticos en la basura de Roma era del 4 % según A. Rossi.

Sin embargo, conviene matizar que estas cifras son extremadamente difíciles de establecer, ya que los residuos urbanos son materiales mal defi-

nidos, heterogéneos, muy variables y de diferentes procedencias. Su composición es muy diferente según provenga de un núcleo urbano o rural, de una zona desarrollada o de una zona subdesarrollada.

CUADRO 2
RESIDUOS SOLIDOS URBANOS Y SU CONTENIDO
EN PLASTICO (1978)

<i>País</i>	<i>Cantidad de basuras (kg/hab/año)</i>	<i>Contenido en plásticos (% peso)</i>
Australia	56	2
Austria	275	4,6
Canadá	1.000	2,5
Alemania	400	5
Finlandia	130	5
Francia	250	5,5
Irlanda	370	1,5
Italia	800	2
Japón	300	7
Holanda	525	7,7
Noruega	200	5,7
España	234	5
Suecia	450	8
Suiza	275	4
Inglaterra	323	3,5
Estados Unidos	770 *	3

Fuente: ANAIP.

* Según el *Midwest Research Institute*.

Los análisis y composición efectuados en Madrid por ENADIMSA revelan que el componente plástico oscila entre el 3 y el 7 % del total de las muestras analizadas y que se puede considerar aproximadamente que la media es de un 5 % en peso para 1978. Quiere esto decir que en nuestro país puede haber pasado a la basura una cantidad del orden de 430.000 toneladas de diferentes tipos de plásticos, lo que confirma la gran importancia que tiene el plantearse su recuperación. Estas expectativas aumentan si tenemos en cuenta que las previsiones para 1997, en España, son de que los plásticos constituirán aproximadamente el 8 % de los residuos urbanos.

La estructura y distribución de los diferentes plásticos en estos porcentajes se estudiarán posteriormente, dada la diversidad de procesos de reciclado que dependen en muchos casos de la naturaleza de los mismos.

La influencia de los materiales plásticos contenidos en los residuos puede ser muy variable, según el tratamiento que se dé a estos últimos.

Vertido

En el caso del vertido, los plásticos no parecen crear grandes problemas, aunque sí que presentan algunos inconvenientes:

- debido a su escaso peso, vuelan y se esparcen por la zona;
- ocupan un volumen importante;
- en caso de compactación, forman capas impermeables que impiden el paso del aire, con lo que pueden reducir e incluso anular la digestión aerobia;
- pueden afectar la estabilidad del terreno después del terraplenado;
- por su elevado poder calorífico pueden propagar incendios.

— Compostaje

En este caso los materiales plásticos constituyen un elemento extraño que no beneficia a la calidad del *compost* y que contribuye a darle a este último un aspecto poco estético.

De hecho, los filmes plásticos pueden constituir, en algunas instalaciones, un obstáculo para su buen funcionamiento.

Trituración y compactación

En general, bien sea para el compostaje o para su posterior vertido, los residuos son sometidos a trituración.

Los plásticos, por sus características mecánicas (resistencia al impacto y al desgaste), presentan dificultades de trituración en los equipos convencionales, generalmente molinos de martillos.

En lo que se refiere a los sistemas de compactación, los problemas de los objetos de plástico son su elasticidad y su volumen. Tienen a recuperar su forma primitiva una vez compactados.

Incineración

En la incineración, la presencia de ciertos residuos plásticos puede provocar inconvenientes graves. No obstante estudiar este aspecto específico más adelante, podemos citar los siguientes:

- Si la proporción de plásticos es muy alta, debido a su elevado poder calorífico, pueden dañarse los refractarios.
- Emisiones de gas clorhídrico debido a la combustión del PVC.

Residuos sólidos industriales

Hay dos clases de basura industrial. La primera de ellas se refiere a los recortes y *scraps* que se producen en las operaciones que se realizan en una planta industrial. Este tipo de residuo es homogéneo y en muchos casos es reciclado mediante la incorporación de estos recortes a la materia virgen.

El segundo tipo está constituido fundamentalmente por mezclas de productos y, por lo tanto, no es homogéneo. Su aprovechamiento posterior requiere una separación previa.

En efecto, en el total de la industria, las proporciones de *scraps* y desperdicios que se utilizan en la fabricación de un amplio conjunto de materiales son importantes, aunque los datos de que se disponen sugieren que una gran masa de material reprocesado se origina en la planta y sólo una pequeña parte procede normalmente de la recuperación después del consumo. Así, por ejemplo, de acuerdo con los datos proporcionados por el documento *War on Waste* y por las Naciones Unidas, las proporciones de material recuperado en porcentaje sobre el total de la producción en el momento presente en el Reino Unido, están recogidas en el cuadro 3.

CUADRO 3

PORCENTAJES DE MATERIAL RECUPERADO SOBRE EL TOTAL DE LA PRODUCCIÓN EN EL REINO UNIDO

Material	<i>Scraps</i> procedentes de planta	<i>Scraps</i> procedentes del postconsumo
Hierro y acero	52	10
Cobre	40	13
Cinc	30	
Plomo	65	
Vidrio (botellas)	22	3
Papel	43	15-30

En otro punto de este trabajo se estudiarán con más detenimiento la recuperación de los residuos industriales procedentes de las plantas de producción y transformación de plásticos. Podemos adelantar, no obstante, que el promedio de material recuperado es del orden del 10 %.

5. RESIDUOS SOLIDOS PLASTICOS

Anteriormente se ha descrito la incidencia de los materiales plásticos en los residuos sólidos urbanos. Sin embargo, es de mucho interés para el tema del trabajo conocer su procedencia y la distribución de los diferentes plásticos dentro de los porcentajes antes vistos.

a) *Procedencia de los residuos plásticos*

En el cuadro 4 se da información de la procedencia de los residuos plásticos en la República Federal Alemana en el año 1977, así como de su volumen. Se ha escogido este caso por tratarse de uno de los países con mayor consumo *per capita* de plásticos.

Como puede observarse en el cuadro, la mayor fuente de residuos de materiales plásticos está en las basuras urbanas y en las industriales, que suponen un 11 % del total de plásticos consumidos en la República Federal Alemana. Este caso es extrapolable a cualquier país, y por supuesto a España, en cuanto al diferente origen de los residuos plásticos.

CUADRO 4

FUENTES DE RESIDUOS PLASTICOS EN LA REPUBLICA FEDERAL
ALEMANA (1977)
(En Tm/año)

De la transformación de los materiales plásticos	30.000
Del desguace de automóviles y otros ítems	120.000
En las basuras urbanas, desechos de aislamientos, así como residuos industriales semejantes a los urbanos	650.000

Ahora bien, dentro de los denominados residuos plásticos urbanos, es importante conocer el origen de los objetos de plástico que los forman.

Estudios realizados en 1970 en los Estados Unidos, permitieron establecer la siguiente composición:

• Materiales de envase y embalaje	60 %
• Operaciones de producción y transformación	15 %
• Menaje	6 %
• Juguetes	5 %
• Transporte, aislamiento, muebles, etc.	14 %

Estos datos son bastante congruentes con los disponibles actualmente. En efecto, en los residuos urbanos, la mayor parte de los objetos de plástico se encuentran en forma de envases y embalajes (botellas, tarrinas, bolsas, filmes, tapones, etc.).

En España, y de acuerdo con los estudios de ENADIMSA, en los residuos plásticos urbanos nos encontramos con tres formas de materiales plásticos:

• materiales plásticos en forma de film (bolsas, láminas, etc.)	75 %
• materiales plásticos en forma de cuerpos huecos (botellas, tarrinas, etc.)	25 %
materiales plásticos con formas macizas (tapones, juguetes, zapatos, etc.)	

Como se ve por esta información, se confirma que, efectivamente, los materiales plásticos de envase y embalaje son los responsables principales de la existencia de residuos sólidos plásticos en la basura, con una gran diferencia respecto a otros tipos de objetos.

b) Composición de los residuos plásticos

Veamos ahora la composición de estos residuos en cuanto a los polímeros se refiere.

Como se comprenderá fácilmente por lo estudiado con anterioridad, el contenido de los residuos plásticos es muy heterogéneo en cuanto a su composición en polímeros. En efecto, dada la existencia del elevado número de

No obstante, en los datos que figuran a continuación nos vamos a referir a las resinas poliméricas más utilizadas y que, por ello, tienen un mayor reflejo en los residuos.

En el cuadro 5 se recoge la composición de materiales plásticos en la República Federal Alemana, los Estados Unidos y España.

CUADRO 5
COMPOSICION DE LOS MATERIALES PLASTICOS EN LAS
BASURAS DOMESTICAS (1973)
(En %)

Resina polimérica	RFA	EE. UU.	España
Poliétileno baja densidad (PEbd)			
Poliétileno alta densidad (PEad)	69,2	70	
Polipropileno (PP)			
Policloruro de vinilo (PCV)	17,4	12	10
Poliestireno (PS)	13,4	16	12

Estos datos han sido tomados en parte del trabajo del doctor J. Brandup, publicado en 1976 y calculado el resto sobre información procedente de ANAIP. No obstante, opinamos que puede aplicarse a *grosso modo* a la composición actual.

De la observación del cuadro precedente se puede concluir que las poliolefinas (PEbd, PEad y PP) son las que aparecen en mayor proporción. Esto es lógico si se tiene en cuenta que precisamente estas resinas poliméricas son las que más se utilizan en la fabricación de envases y embalajes, como puede verse en el cuadro 6, que se refiere a España.

CUADRO 6
PARTICIPACION DE LAS DIFERENTES RESINAS
POLIMERICAS EN EL SECTOR DEL ENVASE
Y DEL EMBALAJE

Resina polimérica	%
PEad	
PEbd	54
PVC	15
PS	
PP	

Por otra parte, podemos decir que esta composición no ha sido siempre la misma. Al igual que el porcentaje de residuos plásticos en la basura ha variado progresivamente en función del aumento de la producción de plásticos y del perfeccionamiento de la automatización de los sistemas de envasado automático, es evidente que el desarrollo de aplicaciones específicas de las resinas poliméricas ha influido notablemente en la variación de la composición de la fracción plástica en los residuos sólidos urbanos. Esto puede comprobarse fácilmente en el cuadro 7 que nos da la variación de la composición de los residuos sólidos en España.

CUADRO 7
PORCENTAJES DE LOS MATERIALES PLASTICOS
PRESENTES EN LOS RESIDUOS SOLIDOS

	1970	1976	1979
Polipropileno	0,06	0,14	0,20
Poliestireno	0,28	0,39	0,58
PVC	0,08	0,49	0,73
Polietileno bd	1,42	1,94	2,63
Polietileno ad	0,15	0,53	0,86
Total plásticos	2,00	3,50	5,00

Puede apreciarse cómo mientras el polietileno de baja densidad prácticamente se ha multiplicado por 2, el policloruro de vinilo se ha multiplicado por 9; el polipropileno, por 3, y el polietileno de alta densidad, por casi 6. Esto indica una tendencia a la diferenciación sectorial y, en resumen, una mayor selectividad en los hábitos del consumidor.

c) *Tendencias futuras en la composición*

Las tendencias futuras en la composición, de conformidad con las previsiones sobre producción y consumo de envases y embalajes plásticos, que como se ha visto son los que más inciden en las basuras urbanas, son las siguientes, escuetamente tratadas.

El polietileno de baja densidad, cuyos envases y embalajes tienen una vida muy corta, se mantendrá en proporciones parecidas. Las cantidades que aparezcan en los residuos serán casi iguales a las de los envases producidos. Aumentarán el film retráctil y el estirable y disminuirán las bolsas dedicadas a alimentación y paquetería.

regirá por los mismos condicionamientos que el PEbd.

La proporción de polipropileno crecerá más rápidamente, desplazando parcialmente al PVC en la fabricación de botellas y al PEbd en el film.

El policloruro de vinilo limitará su tasa de crecimiento en las basuras. Sin embargo, continuarán apareciendo en éstas las botellas de PVC, que irán sustituyendo gradualmente a las de PEbd en el envasado de aceites.

El consumo de resinas estirénicas presentará incrementos más bajos que los anteriores y únicamente se prevé su más fuerte aparición en la forma expandida.

Aumentará la concentración en los residuos urbanos de los llamados «envases complejos», constituidos por varias capas de plástico solos o unidos a papel, aluminio, celofán, etc.

Aparecerán nuevas resinas plásticas, como los copolímeros EVA y el polietilentereftalato, utilizado este último en la fabricación de botellas para bebidas carbónicas. No obstante, su aparición en los residuos sólidos urbanos en cantidad apreciable todavía llevará algunos años.

d) Separación de plásticos a partir de los residuos sólidos urbano.

Evidentemente, la separación de los plásticos de los residuos sólidos urbanos supone una operación previa al tratamiento y reciclado de los mismos. Dado el bajo contenido de los materiales plásticos en las basuras, la separación condiciona económicamente al aprovechamiento posterior de los mismos. Sin embargo, el cada vez mayor valor intrínseco de estos residuos plásticos posibilitan día a día esta operación.

No vamos a describir con minuciosidad los diferentes sistemas de separación existentes, y nos limitaremos a hacer una somera descripción de los mismos y un posterior análisis de su operabilidad.

i) *Separación a partir de los residuos urbanos brutos.* Por lo general en los procesos de separación, los residuos —después de sufrir unas operaciones sucesivas de cribado y molienda con el objeto de eliminar los finos— conseguir tamaños de partícula adecuados— son sometidos a la acción de un separador magnético para eliminar los materiales ferrosos, y enviados a un clasificador de aire que subdivide a la materia en dos fracciones. La fracción ligera contiene una mezcla de papeles y plásticos ligeros (láminas, filmes). La fracción pesada se compone principalmente de productos de densidad grande (metales no ferrosos, vidrio, piedras, materiales orgánicos pesados, pedazos de caucho, textiles gruesos y plásticos densos).

Casi todos los procesos actuales de separación de plásticos tratan de eliminar los plásticos de la fracción ligera con el fin de aprovechar el papel.

- El proceso TNO separa plásticos de papel utilizando clasificadores tipo zig-zag y usando una humidificación selectiva, toda vez que los plásticos no absorben agua. El aprovechamiento posterior de este papel supone un secado previo, que reduce la rentabilidad del proceso total.

- El proceso Fläkt utiliza un clasificador que, una vez eliminadas las materias orgánicas, alimenta con la fracción ligera una criba en la que, al pasar, se eliminan los finos, mientras que en el rechazo queda el papel y los plásticos ligeros. Este aparato trabaja a una temperatura que proporciona un principio de fusión en los plásticos. Ello tiene por efecto modificar el peso específico y la forma de los objetos presentes en la mezcla, sin cambiar las características del papel. De esta manera, volviendo a pasar la mezcla así transformada por otro clasificador, se consigue la separación.

- El proceso SORAIN de Roma también separa plásticos y papel. La fracción ligera que procede de un clasificador de aire se vierte a un malaxador que remueve la mezcla de plásticos y papel en agua, disgregando el papel sin romper el film, que queda enganchado en las paredes del aparato. Igual que antes, el proceso exige un secado del papel húmedo. Los filmes se separan manualmente, se trituran y se eliminan las partículas finas mediante un ciclón. Los rechazos del ciclón se lavan y pasan a la extrusora.

- En el proceso ENADIMSA, la fracción ligera (papeles, cartones, filmes, botellas de plástico, textiles y materia orgánica fina) se separa mediante una campana de aspiración y un ciclón. Los productos orgánicos putrescibles se separan mediante un *trommel*. Los rechazos del *trommel* se mojan inmediatamente mediante un sistema de *sprays* antes de pasar al *trommel* dilacerador. Los papeles y cartones son desmenuzados y pasan a través de las mallas del *trommel*. Los plásticos y textiles, que no se han alterado, sufren a continuación una clasificación neumática que separa entre sí los filmes y las botellas de plástico. Según el constructor, el sistema permite recuperar lo siguiente:

70 % de papeles y cartones,

80 % de filmes y láminas de plástico,

50 % de botellas y tarrinas de plástico.

Al igual que en casos anteriores, el papel exige un secado previo a su recuperación.

ii) *Separación de los plásticos entre sí según su naturaleza.* Como veremos después, hasta el presente, el reciclado de plásticos está considerado desde el punto de vista de aprovechamiento de las mezclas de plásticos de diferentes tipos. Sin embargo, los problemas de compatibilidad de los plásticos aconsejan en muchos casos que se haga una separación de los mismos entre sí o al menos por familias de plásticos.

Los métodos para la separación de los distintos residuos plásticos según su naturaleza se basan, esencialmente, en su forma, en su densidad, en la disolución selectiva y en sus propiedades eléctricas. La disolución selectiva sólo es posible en determinadas circunstancias, tales como la recuperación de papel a partir de envases de cartón recubierto con PEbd para leche, pero no para una recuperación de tipo industrial. Los métodos electrostáticos no son capaces de separar los plásticos entre sí debido a su similitud.

Los métodos basados en la densidad son los que, hasta el presente, han dado mejor resultado, si bien todavía tienen un carácter experimental.

Resultan particularmente interesantes los trabajos realizados por el Bureau of Mines de los Estados Unidos en el Rolla Metallurgy Research Center, sobre separación de plásticos, según sus diferencias de densidad. A base de la información obtenida sobre las propiedades y de la experimentación en el laboratorio, han diseñado un sistema cuyo diagrama de flujo se recoge en la figura 3.

Los envases y botellas, que son la parte más importante de los residuos, se cortan en trozos y se pasan a un clasificador de aire donde se separan, por un lado, la fracción ligera y la pesada, por otro. La fracción pesada contiene el 76 % de la cantidad inicial de materia, lo que evidencia la importancia de esta fracción. La fracción pesada se lava en un *scrubber* y se somete al proceso *sink-float*. En la figura 4 se establece un diagrama de flujo de este proceso de separación de plásticos por medio de líquidos de diferente densidad. Los líquidos empleados fueron agua pura, dos mezclas de agua-alcohol y una solución de cloruro cálcico. Los resultados obtenidos fueron bastante correctos.

También ha sido ideado un separador que usa solamente agua como medio de separación y que permite separar los residuos plásticos en tres fracciones: poliolefinas (PEbd, PEad y PP), poliestireno y policloruro de vinilo. Como se puede observar en la figura 5, la mezcla de plásticos se alimenta a un separador tipo *sink-float* que separa por flotación las poliolefinas. Los otros dos componentes, una vez que se han hundido, se transportan mediante burbujas de aire a una columna de levigación; a través de los

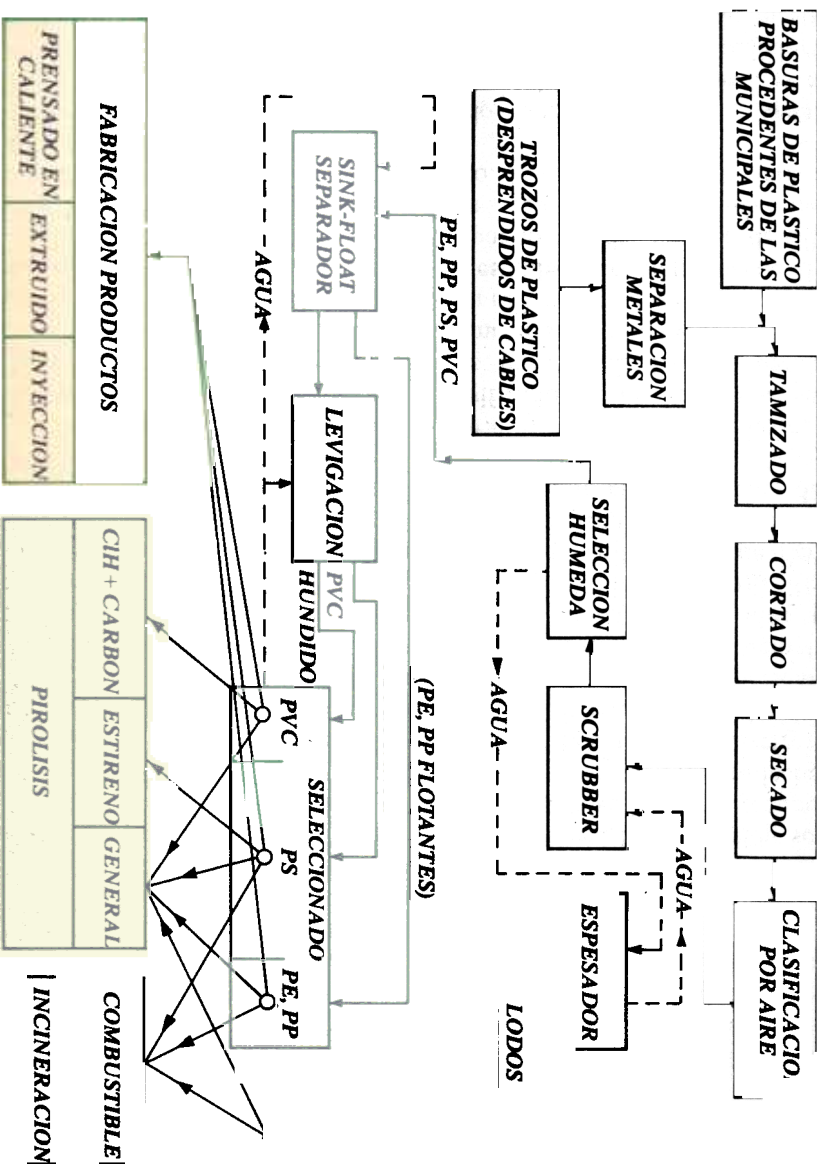


Figura n.º 4

ESQUEMA TEORICO DEL METODO SINK-FLOAT PARA SEPARAR MEZCLAS RESIDUOS PLASTICOS.

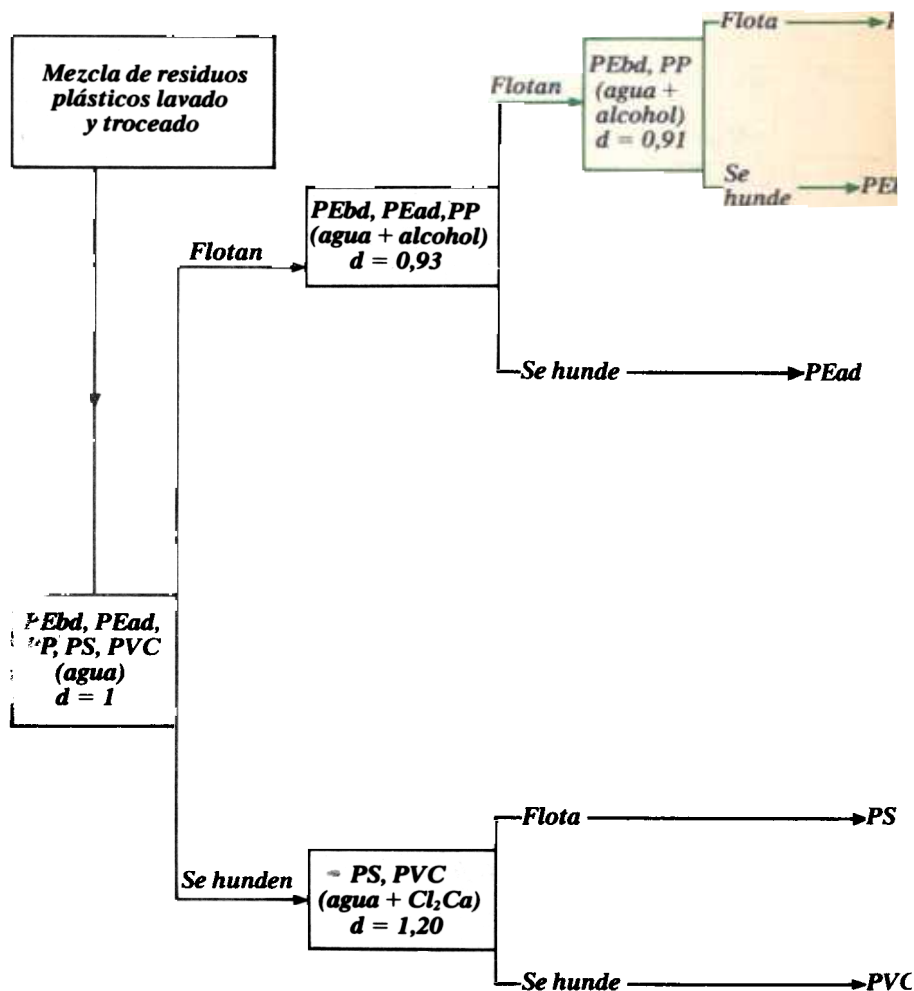
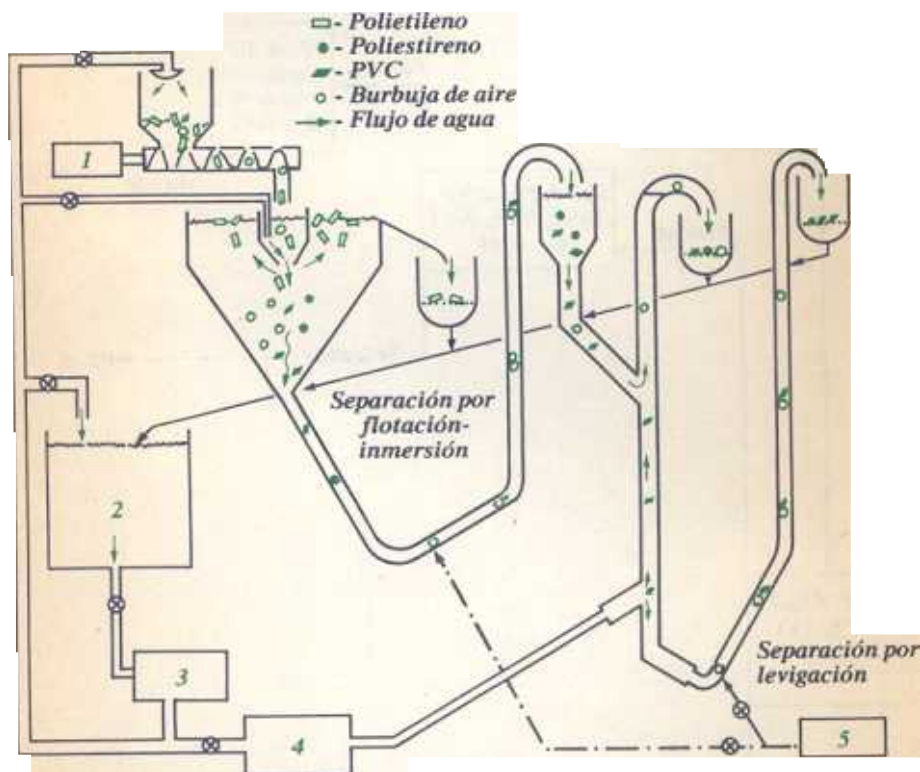


Figura n.º 5

DIAGRAMA ESQUEMATICO DEL SEPARADOR HIDRAULICO.



rebosadores de ésta se separa el poliestireno, y el policloruro de vinilo, que se hundirá, se transporta mediante burbujas de aire a un receptáculo. Las pruebas del modelo de laboratorio han aconsejado su fabricación a escala municipal.

Además de estos trabajos experimentales, se citan algunos en la bibliografía.

El profesor M. Bevis, de la Universidad Brunel, habría puesto a punto un proceso de lavado y separación de plásticos que sólo utiliza agua sin aditivos, basado en la separación por densidad mediante un sistema particular de rotores y baffles, cuyos detalles se desconocen.

El separador Mesco (Mitsui Mining and Smelting Co., Japón) utilizaría unos reactivos que cambiarían preferentemente las propiedades superficiales de los polímeros, lo que influiría en la flotación.

e) *Recolección selectiva*

A los procedimientos de separación antes vistos hay que añadir el llamado de «recolección selectiva», que consiste en una separación de los objetos de plástico previa al depósito de la basura por parte del ama de casa, a la que se entregan unas bolsas y unas instrucciones de selección. Los precios cada vez más altos de los plásticos y la preocupación ecológica, que ha calado profundamente en el ciudadano medio, van posibilitando en forma gradual este tipo de operación.

Desde hace años se han realizado y realizan experiencias de recogida selectiva por parte de las autoridades municipales. Estos ensayos permitirán estudiar el problema de una eficaz motivación del ama de casa y determinar el coste aproximado de esta operación. Conocidas son las experiencias francesas de Le Havre, Rouen y Lyon; los ensayos belgas de Lieja; los suizos de Morger, donde se consiguió un rendimiento del 28 %, y los más recientes de los Estados Unidos, donde Monsanto, fabricante de las botellas de polietilentereftalato *Cycle Safe* para la Coca Cola, prima monetariamente a los ciudadanos que depositan las botellas en centros locales de recogida, para ser recicladas posteriormente.

Excepto en este último caso, en el que se recoge un objeto muy concreto, en las demás experiencias los problemas planteados no son de fácil resolución. Las técnicas de recogida han sido diferentes: en algunos sitios se ha intentado recoger selectivamente todas las botellas, fueran o no de plástico, y separarlas después por flotación o mecánicamente; en otros se ha puesto una bolsa para recoger los plásticos (film, botellas, juguetes, etc.), y en algunas ciudades —concretamente en algunas ciudades francesas— lo que se ha intentado ha sido separar previamente las botellas de PVC, fáciles de distinguir y que son objetos fabricados con el mismo polímero.

Es decir, dependiendo del tipo de recolección selectiva utilizada, podemos obtener bien mezclas de plásticos muy heterogéneos y variables, o bien mezclas más o menos puras. En el primer caso estas mezclas son de difícil aplicación directa y se estudian actualmente con el fin de buscarles salidas comerciales. Cuando las mezclas obtenidas son de material plástico homogéneo, son más fáciles las aplicaciones, como se verá posteriormente.

Además de estos problemas, la recolección, o recogida selectiva, es deficitaria actualmente, debido a una mayor necesidad de mano de obra y materiales. Resumiendo, podemos decir que su interés es innegable desde el punto de vista ecológico y teniendo en cuenta la necesidad de salvaguardar los recursos naturales de nuestro planeta, pero resulta todavía antieconómica al menos en los intentos realizados hasta hoy.

f) Consideraciones sobre la operatividad de los procesos de separación

A la vista de las particularidades y la situación actual de desarrollo de los procedimientos anteriormente relacionados, cabe hacer las siguientes consideraciones:

Los informes sobre la rentabilidad de estos procesos son difíciles de obtener y es muy difícil emitir un juicio sobre sus méritos concretos.

Los costes implicados en la recogida, selección y limpieza son muy altos.

La fracción pesada que se obtiene a la salida del clasificador de aire en el tratamiento de separación de los residuos urbanos, que es la fracción que contiene los plásticos más pesados (botellas, tarrinas, recipientes, etc.), parece no haber sido estudiada tan a fondo como la ligera.

En general estos métodos consumen bastante energía para secar la fracción de papel.

Los métodos de separación de plásticos entre sí son poco numerosos y los que existen son caros.

En resumen, los residuos urbanos contienen la parte mayor de plásticos a eliminar, pero presentan más dificultades para su separación y reciclado que los residuos plásticos industriales. Por lo tanto, será necesario desarrollar más los equipos y sistemas y seguir estudiando activamente los diferentes caminos hoy en experimentación, con el fin de hacer rentables las operaciones de separación y reciclado.

6. PROCEDENCIA DE LOS RESIDUOS PLASTICOS INDUSTRIALES

Ya hemos comentado que, si bien desde el punto de vista de cantidad, los *scraps* industriales producidos en las plantas representan un valor inferior al procedente de los residuos sólidos urbanos, desde el punto de vista de reciclado y recuperación son los más interesantes, toda vez que se trata de residuos plásticos homogéneos y, por tanto, fáciles de recuperar, utilizándolos de nuevo como materia prima, mezclándolos con la resina termoplástica virgen.

Los residuos plásticos industriales se producen a lo largo de todas las etapas del proceso, es decir:

- en la producción o síntesis de las resinas plásticas;
- en la formulación de las mismas;
- en la transformación de las resinas para obtener productos semiacabados o acabados.

Veamos cada una de estas fuentes de procedencia.

Síntesis de los polímeros

En la producción de resinas sintéticas, los residuos suelen estar constituidos por lotes defectuosos que no se ajustan a las especificaciones de fabricación o que se han originado normalmente en los llamados «cambios de grado».

Se estima generalmente que la proporción de la producción de estos residuos oscila entre un 0,5-1 % sobre lo producido.

Formulación de resinas poliméricas

Los residuos producidos en esta operación se deben a los errores cometidos en la dosificación de aditivos, en la coloración, en la degradación del polímero durante la formulación, etc.

Durante la transformación los residuos se producen como consecuencia del recorte de los bordes del film o lámina, de recortes del troquelado, de los bebederos de la inyección de sobrantes de los moldes, de empieces y finales de bobinas, etc.

No se ha publicado una información detallada sobre el particular. Sin embargo, se dispone de algunos datos procedentes de diferentes fuentes de información (Fechimie, Fabriplast, Plastiques Modernes et Elastomeres, BIT), que se recogen en el cuadro 8. Conviene insistir en que son valores promedios. Es muy difícil establecer valores de cierta exactitud, toda vez que la producción de residuos depende de variables tan diversas como la edad de los equipos, su sofisticación o el control de calidad exigido a los productos resultantes de la transformación.

Las cifras recogidas en el cuadro 8 como correspondientes a extrusión de filmes y láminas incluyen también la confección de bolsas y sacos y su impresión mediante tintas. Ambas operaciones aparecen normalmente integradas en línea en los procesos de extrusión. La simple extrusión de bobinas produce en general un porcentaje más pequeño de desperdicios.

CUADRO 8

PRODUCCION DE DESPERDICIOS PLASTICOS DURANTE
LA TRANSFORMACION

Técnica de transformación	Proporción media de residuos (%)	Proporción media de residuos reprocesados en la propia planta (%)
Inyección	10	5
Extrusión de tubos y perfiles	3	1
Extrusión soplado de cuerpos huecos	12	9
Extrusión de filmes y láminas	8	5
Termoconformado	20	5
Calandrado	3	2

Como puede verse en el cuadro, la parte de los residuos que no ha sufrido contaminación alguna, que es la más grande, puede introducirse de nuevo en la producción con el material plástico nuevo, una vez lavada y granceada o aglomerada.

Otra parte de los residuos plásticos industriales se ensucia a largo de la transformación o se mezcla con productos extraños (serrín, grasa, papeles, etc.) y no se puede reprocesar directamente en la planta. Esta parte sufre posteriormente un reciclado secundario o terciario, como luego se verá, en las instalaciones de los llamados recuperadores.

7. RAZONES PARA EL RECICLADO

Varias son las razones que justifican el reciclado de los materiales plásticos. Fundamentalmente son las siguientes:

- a) Razones económicas.
- b) Razones de ahorro de materias primas y energía.
- c) Razones de tipo ecológico.

a) *Razones económicas*

Los condicionamientos económicos generales de la industria de plásticos —en la que los costes de las materias primas son una parte muy significativa del precio del artículo fabricado— han hecho que el reciclado de sus residuos sea siempre un poderoso incentivo. De hecho, ello se ha traducido en el reprocesado de los residuos plásticos industriales en la misma planta o de los que son comprados a firmas especializadas en el reacondicionamiento y mejora de residuos plásticos. A medida que aumentan los precios de los materiales vírgenes, aumenta el interés de este tipo de recuperación y la cantidad de residuos tratados.

Como hemos visto en los apartados anteriores, son muy importantes las cantidades de residuos procedentes no sólo de las plantas de la industria de plásticos, sino de los residuos sólidos urbanos. Suponiendo que se produzca un 10 % aproximadamente de recortes y *scraps* en la industria de materiales plásticos española, que es la cifra admitida universalmente como porcentaje medio, sólo en nuestro país se producirían 100.000 Tm de residuos al año.

En los residuos sólidos urbanos, según estudios de ENADIMSA, existen residuos plásticos, potencialmente recuperables, del orden de las 430.000 Tm. No obstante, estimamos que esta cifra, calculada a partir del contenido

medio de plásticos en los residuos sólidos urbanos y de la cantidad de kg/habitante de los mismos, es alta. Si el cálculo se basa en las estimaciones europeas de que va a parar a las basuras urbanas del orden del 25-30 % de la producción total de productos plásticos, la cifra obtenida para España oscilaría entre 250.000-300.000 Tm. De cualquier modo, esta cantidad supone un potencial económico muy importante a tener en consideración y que, al igual que la procedente de los residuos industriales, justificaría por sí sola el desarrollo de las técnicas de tratamiento y reciclado de plásticos.

b) *Razones de ahorro de materias primas y energía*

En un trabajo publicado por *Imperial Chemical Industries* (Reino Unido), se ha estimado que la energía total consumida en la fabricación de los principales polímeros, está entre 1,7 y 2,5 t. e. p. por tonelada de polímero. En esta cifra está incluido no sólo el petróleo que se usa como materia prima, sino también el petróleo que se necesita para producir la energía total consumida durante el proceso de producción del polímero. Por lo tanto, las cerca de 400.000 Tm de plásticos que en teoría podrían ser recicladas primariamente equivaldrían a unas 800.000 Tm de petróleo, lo que significaría el ahorro del 1,7 % del total de petróleo consumido en España en el año 1978, que se estima en 45,9 millones de toneladas. Si bien es cierto que esta cifra es pequeña, los costes crecientes del petróleo la hacen claramente atractiva.

Hay que hacer notar que este cálculo se ha basado en el supuesto teórico de un reciclado primario o reprocesado de los residuos plásticos, supuesto irrealizable hasta el momento en un cien por cien. Por ello, y dentro de las razones energéticas que justifiquen el reciclado de estos residuos, habría que considerar también su uso como fuente de energía, o sea, como una alternativa al petróleo del que fueron obtenidos. Esta operación se conseguiría mediante un reciclado terciario (incineración, pirolisis, etc.) y se estudiará posteriormente.

c) *Razones de tipo ecológico*

Aunque desde el punto de vista ecológico los residuos plásticos no contaminan, puesto que no modifican el equilibrio de los ecosistemas, no hay duda de que las razones estéticas deben ser tenidas en cuenta en el momento de enjuiciar las razones que justifican su reciclado.

Las razones económicas y energéticas, sobre todo, han dado lugar a toda una serie de iniciativas públicas y privadas en orden al reciclado de los

residuos plásticos. Así, por ejemplo, el gobierno belga ha elaborado un programa nacional de investigación y desarrollo para el aprovechamiento de desechos, que incluye los plásticos, y que fue aprobado el 18 de junio de 1976. El gobierno francés ha promulgado una ley que lucha contra la discriminación injustificada entre el material virgen y el recuperado y ha puesto en marcha un plan de investigación a través de la D. G.R. S. T. En Alemania, la industria de plásticos ha emprendido un ambicioso programa de estudios sobre el tratamiento y recuperación de plásticos, establecido en conjunción con el gobierno de la República Federal, que costará 5 millones de marcos. En el Reino Unido, el Departamento del Medio Ambiente está estudiando la separación de residuos mediante planta piloto. Conocidos y ya citados son los trabajos del *Bureau of Mines* de los Estados Unidos.

CUADRO 9

BASURAS MUNICIPALES NORTEAMERICANAS Y RECUPERACION DE PLASTICOS

	1975	1980	1985	1990	2000
Total de las basuras municipales, en millones de Tm	140	160	180	200	240
Plásticos en basuras, millones de Tm	5,7	8,4	11,0	13,2	16,8
Plásticos en basuras, %	4,1	5,3	6,2	6,6	7,0
Número de instalaciones para recuperación de plásticos de las basuras municipales	5	12	32	60	200
Total de desechos recuperados, millones Tm	2,1	6,6	24,0	48,6	162,0
Plásticos recuperados de basuras, millones de Tm	0,085	0,35	1,47	3,2	11,3
Energía recuperada de los plásticos, 10^6 B. t. u. a 30×10^6 B. t. u./Tm	2.250	10.500	44.100	93.300	321.000

Estas iniciativas son sólo unos ejemplos del interés por el tratamiento y reciclado de los plásticos, pero quizá más ilustrativo sea el cuadro 9, elaborado por el *Midwest Research Institute*, en el que se recogen las previsiones al respecto hasta el año 2000 y en el que se puede observar el gran desarrollo de las instalaciones de recuperación y las toneladas de residuos plásticos recicladas.

REUTILIZACION

Como ya se mencionó antes, la reutilización describe el caso en que un artículo ya fabricado es recuperado para su uso posterior en su forma original. No se trata, pues, de reciclado de un residuo plástico, sino del reciclado de un objeto en función de su aplicación.

Hay multitud de casos de reutilización, pero bastará enumerar unos ejemplos:

Reutilización de cajas para botellas, de bolsas de asas y sacos de fertilizantes para guardar basuras.

Reutilización de bolsas de supermercado para envasar de nuevo alimentos.

Reutilización de sacos de fertilizantes para envasar productos agrícolas, etc.

En realidad se alarga de este modo el ciclo normal de uso de este tipo de producto, retardando así un corto tiempo su aparición en los residuos urbanos. Por lo tanto, es escasa su incidencia en el problema de los residuos.



9. FACTORES LIMITANTES DEL RECICLADO

Evidentemente, el uso de los productos fabricados a partir del reciclado de los residuos plásticos presenta algunas limitaciones técnicas que habrá que tener en cuenta. Su omisión puede conducir a resultados inaceptables.

a) *Degradación y reticulación*

Los materiales plásticos son sensibles a los agentes químicos, hidrolíticos o mecánicos. Por ello, el reprocesado repetido de los mismos puede tener un efecto adverso en sus propiedades. Como consecuencia de ello, puede haber una limitación en las aplicaciones de los artículos fabricados con ellos; es decir, una disminución en su calidad.

A título de ejemplo, los trabajos de Vogel han puesto de manifiesto que, después de sufrir 20 transformaciones, el poliestireno reduce su peso molecular a la mitad y, como consecuencia, se produce una reducción de aproximadamente el 60 % de su resistencia mecánica. En el PE ad, y en el PE bd, el reprocesamiento repetido produce una reticulación de las moléculas, lo que se refleja en una disminución de sus índices de fluidez; no obstante, sus propiedades mecánicas apenas varían. Esto indica que es perfectamente tolerable la utilización de una pequeña cantidad de material recuperado. Sin embargo, esta cantidad dependerá de la utilización final, lo que supone una limitación.

b) *Incompatibilidad entre los materiales plásticos*

Es sabido que la mayoría de los plásticos son incompatibles entre sí. Esto puede tener un marcado efecto cuando se reciclan mezclas de plásticos tanto sobre las características del procesado del producto como en las propiedades físicas del mismo.

Las mezclas de materiales plásticos incompatibles poseen, en general, propiedades mecánicas deficientes. La influencia de esta incompatibilidad sobre las propiedades mecánicas (resistencia a la tracción, alargamiento en la rotura, módulo y resistencia al choque) para mezclas de PE, PS y PVC, fueron estudiadas por Vinson y Locke en 1972 y por Baum y Parker en 1973. En la figura 6 se dan las propiedades mecánicas de estas mezclas ternarias según los trabajos de los últimos.

En España, estas mezclas están siendo estudiadas por Laguna Castellanos y R. Arganza, del Instituto de Plásticos y Caucho. El estudio incluye mezclas binarias y ternarias, y «composiciones tipo» de los residuos plásticos en las basuras.

Hay que hacer notar que basta una proporción del 5 % de PVC en las mezclas PVC/PE bd para que sus propiedades mecánicas disminuyan notablemente.

Hay al menos tres caminos para mejorar las propiedades de las mezclas:

- Modificar la composición de la mezcla de modo que se entre en una zona de mejores propiedades, añadiendo polímero virgen.
- Introducir un aditivo (agente de compatibilización), que mejore la adhesión entre las distintas fases del polímero.
- Introducir un componente no plástico.

Agentes de compatibilización

Uno de los primeros agentes desarrollados ha sido el polietileno clorado. *Dow Chemical* encontró que este producto mejoraba notablemente las propiedades de las mezclas. Tiene el inconveniente de ser un aditivo caro y que se necesitan grandes concentraciones.

En la Universidad de Texas, el Dr. Paul ha encontrado que los aditivos compuestos de estireno injertado en polietileno pueden compatibilizar las mezclas de poliestireno y polietileno y que un copolímero de etileno y propileno mejora con éxito total las mezclas de polietileno.

Se sigue trabajando en estos aditivos desde el punto de vista científico y sobre todo desde el económico.

Introducción de componentes no plásticos

Uno de los métodos más económicos para reciclar mezclas de plásticos es mezclarlos con materiales no plásticos.

El componente no plástico más simple es el aire. En efecto, la formación de espumas con estos materiales reduce la posibilidad de roturas por impacto. *Phillips Petroleum Company* ha informado del éxito conseguido en la fabricación de una espuma basada en una mezcla que contiene un 50 % de polietileno, un 25 % de poliestireno y un 25 % de PVC.

Normalmente se emplean como materiales no plásticos más resistentes cargas de papel, madera, vidrio o metal. Estas mezclas afectan drásticamente las propiedades de los plásticos y los objetos fabricados con ellas. Por lo tanto, el comportamiento de estos objetos es impredecible, y necesitarán mucha experimentación.

c) *Contaminación de los residuos*

Cuando el reciclado se basa en residuos constituidos por un solo polímero y sobre todo en los residuos recogidos selectivamente a partir de los residuos sólidos urbanos, el principal problema que pueden plantear surge de la contaminación accidental por suciedad, o de la contaminación con otros residuos que puedan plantear problemas de reprocesado o sanitarios. En el segundo caso puede haber limitaciones serias para la fabricación de nuevos envases de uso alimentario.

Cuando la suciedad de los residuos plásticos es producida por alimentos, los objetos y artículos fabricados pueden tener un olor desagradable y absolutamente inaceptable.

10. RECICLADO PRIMARIO

Normalmente el reprocesado de los residuos plásticos industriales mediante su incorporación a material virgen se considera un caso especial del reciclado primario, y así lo vamos a estudiar. Recordemos que en este tipo de reciclado los residuos plásticos se utilizan para obtener un producto final que tiene la misma aplicación del artículo original del que proceden. Este producto nuevo puede tener igual calidad que el originario o una calidad, en general, ligeramente menor. El primer caso se refiere precisamente al reprocesado.

A lo largo del trabajo se ha descrito el reprocesado como operación de recuperación de residuos industriales de plástico, así como la justificación económica de la misma. Vamos a examinar aquí los diferentes procesos utilizados más frecuentemente, así como algunos ejemplos de aplicación.

Los recortes y *scraps* pueden reintroducirse en la producción, mezclados con el material plástico virgen siempre que se cumplan tres condiciones:

- que tengan una buena homogeneidad;
- que estén limpios, y
- que tengan una granulometría parecida al material base.

La proporción en que los residuos plásticos se incorporan al material virgen dependerá de lo siguiente:

naturaleza del polímero;

historia térmica de los residuos;

- sistema de transformación, usando propiedades exigidas al producto final.

Los productos finales obtenidos con estas mezclas, en general, tendrán las mismas especificaciones de calidad que los fabricados sólo con material polimérico virgen.

El reprocesado se aplica, por ejemplo, a los desechos de filmes y láminas de PE, PP y PVC, a los residuos originales en la inyección y extrusión de perfiles, a las láminas troqueladas procedentes del termoconformado, etc. Según la naturaleza y clase de residuo, será necesario realizar operaciones previas de lavado, triturado o cortado y granceado o granulado.

Cada una de estas operaciones se puede hacer de forma aislada o bien a través de procesos y equipos industriales que integran dos o más de ellas, como veremos a continuación.

Compactador Condux (figura 7)

La materia pretiturada es reblandecida entre una corona rotativa y una corona fija, extrusionada después en forma de macarrón hacia un granulador de cuchillas, que la granula hasta el tamaño adecuado. Este equipo está diseñado para trabajar con residuos de películas, láminas y sacos de PE.

— Proceso Gloenco (figura 8)

Este tipo de instalación transforma los desechos de polietileno en gránulos utilizando, como en el caso anterior, un extrusor y una granceadora.

Progress Zerglomatt, de Kraus-Maffei (Linz, Austria). Este proceso se utiliza especialmente en la recuperación de filmes de PE y de PP. El aparato se compone de un recipiente cilíndrico en cuyo fondo existen unas cuchillas fijas y otras rotatorias que desmenuzan los desperdicios de lámina en trozos de aproximadamente 1 cm². Al mismo tiempo se genera una agitación que eleva la temperatura de tal modo que cuando se alcanza el punto de reblandecimiento del plástico, se obtiene una aglomeración del material en grumos, en cuyo momento se inyecta por medio de una válvula de dosificación una cantidad pequeña de agua. De este modo se obtiene, sin interrumpir el giro de las cuchillas, un aglomerado comprendido entre 2 y 15 mm. La producción puede llegar hasta 450 kg/h. Para el reciclado de desperdicios de láminas sucias, como las que se producen en la agricultura y en la construcción (sacos de abonos, láminas para protección), así como en la industria del embalaje (fundas retráctiles), se utiliza una modificación del *Zerglomatt* llamada *Wasch-zerglomatt*. En este equipo, los desperdicios de lámina se lavan y trituran bajo un chorro de agua. El agua de lavado se elimina después mediante centrifugación. El resto del proceso es prácticamente el mismo que el del *Zerglomatt*.

Figura n.º 7

COMPACTADOR CONDUX.

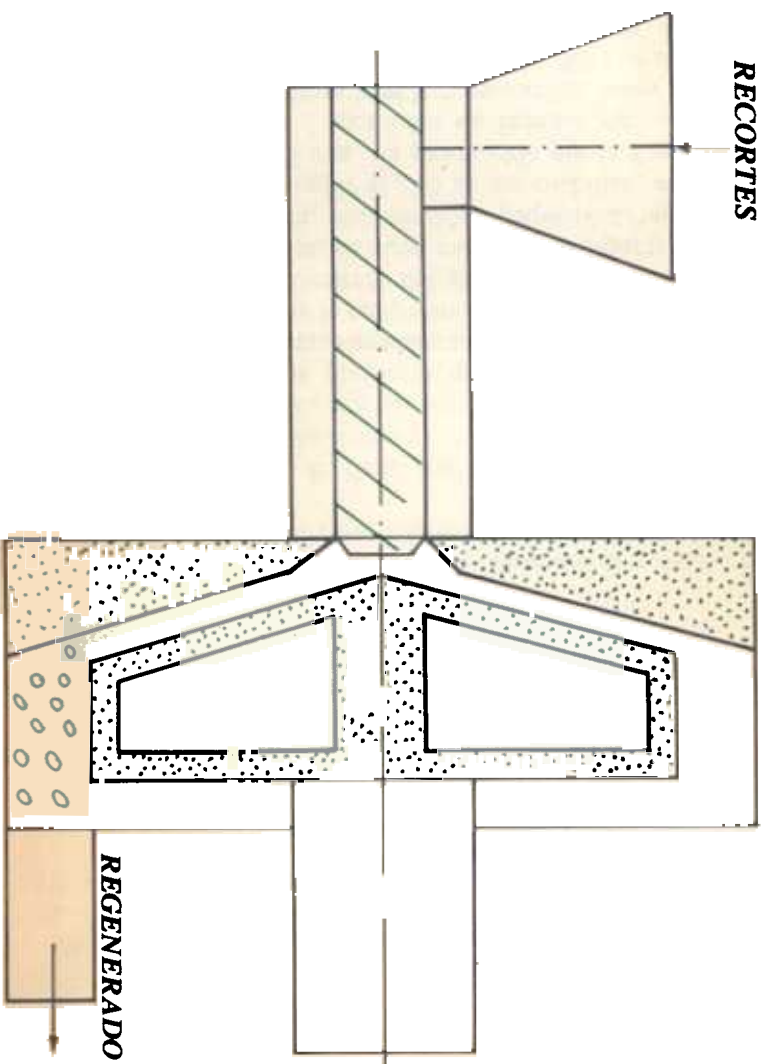
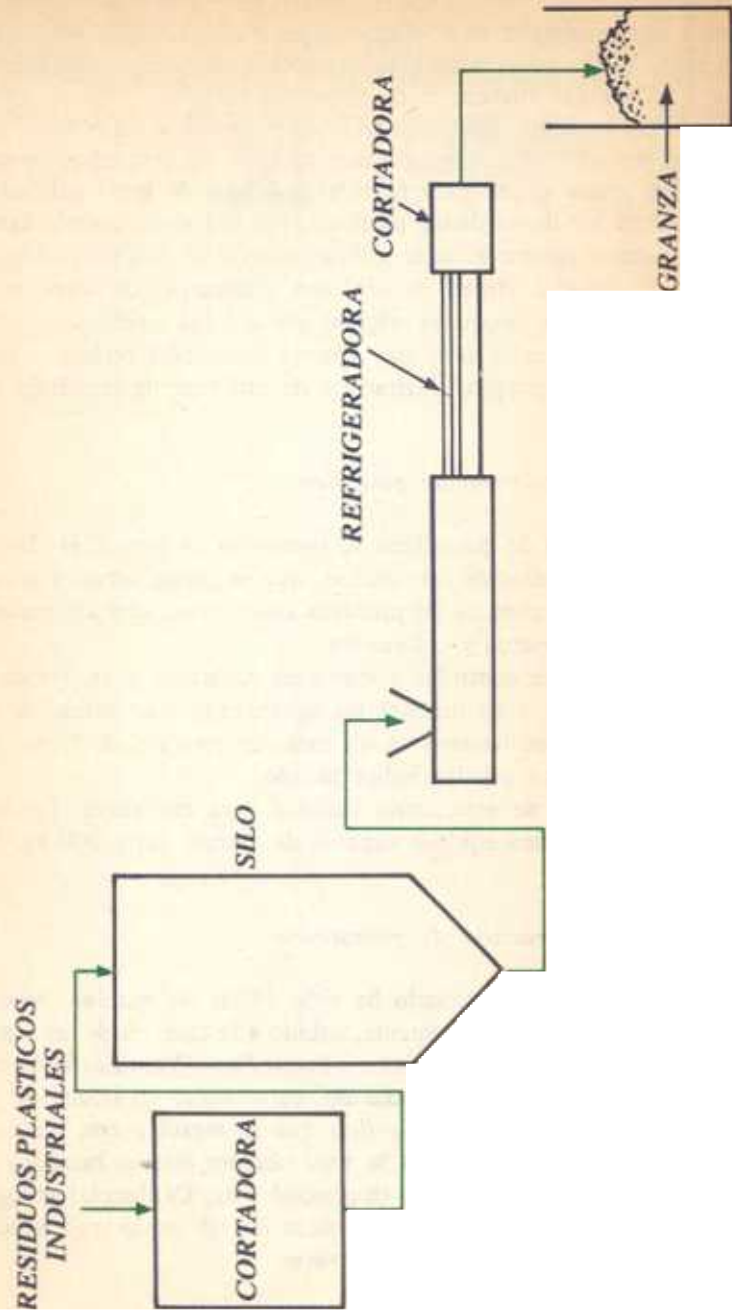


Figura n.º 8

PROCESO GLOENCO.



Cuando los desechos de la transformación no se tratan directamente en la fábrica en que se originaron, pueden ser tratados en industrias equipadas para su tratamiento, que los devuelven a su fábrica de origen o los venden. Además de granulados, en algunos casos estos residuos son teñidos con el fin de suavizar sus diferencias de color.

Como ya se explicó, los productos granulados, así obtenidos en una operación de reprocesado, se pueden mezclar en pequeñas proporciones con materia prima virgen para fabricar artículos de igual calidad que los que originaron los desperdicios plásticos. No obstante, cuando estos materiales granulados o aglomerados se utilizan solos o en una proporción muy grande sobre el material virgen, se obtienen productos con unas especificaciones más bajas que el producto original que dio los residuos.

Esto último es el caso más general dentro del reciclado primario. Citemos algunos ejemplos ilustrativos de este tipo de reciclado.

a) *Reciclado primario de polietileno*

Los residuos de polietileno se presentan en forma de láminas, bolsas o sacos y desperdicios de fabricación, que se lavan, secan y grancean o aglomeran con cualquiera de los procesos antes vistos, una vez separados a mano los residuos impresos y coloreados.

Es importante controlar y mantener constante el índice de fusión de la mezcla, con el fin de obtener un aglomerado susceptible de ser extruido. La extrusión debe hacerse en un extrusor provisto de filtros que retengan las impurezas que puedan haber pasado.

Se obtienen de este modo láminas para embalajes, fundas, bolsas de basura, etc. Existen equipos capaces de extruir hasta 500 kg/h.

b) *Reciclado primario de poliestireno*

El poliestireno espumado ha sido difícil de reciclar, pero cada vez se va haciendo más frecuentemente, debido a la carestía de las materias primas. Por ejemplo, la compañía *Western Foam Pack* (Yakima, Washington) recicla bandejas de poliestireno espumado, cortándolas en trozos de 3 a 20 cm y extruyendo estos recortes a *pellets* que se mezclan con material virgen en proporciones de hasta un 25 % para obtener nuevas bandejas.

La *Free Packaging Corp.* (Redwood City, California) recoge envases de poliestireno espumado y los reprocesa de tal modo que pueden reciclarse otra vez para obtener nuevos envases.

La *Mobil Chemical* recicla artículos de poliestireno expandido, tales como cartones para envasar huevos, en un proceso parecido al de la *Western Foam Pack*.

Sin duda, la mayor ventaja del proceso desarrollado por el *Institut für Kunststoffverarbeitung*, de la República Federal de Alemania, es su simplicidad. El poliestireno expandido se calienta en un horno a una temperatura de unos 110° C durante 7 min., produciéndose una reducción de volumen del 40 %. A continuación se somete el producto a un ligero vacío, con lo que, además de reducir el volumen a un 6,5 % del original, se consigue una desgasificación bastante completa. El producto, una vez triturado, puede procesarse en un equipo de extrusión o inyección convencional.

ONO (Anneau, Francia) ha desarrollado un proceso para separar *scraps* de PS de alto impacto de residuos industriales procedentes de la fabricación de envases para productos lácteos. Los residuos se componen de láminas de aluminio, papel y el poliestireno. Con el proceso se recupera del 60 al 75 % en peso del total de residuos y, aunque según ONO el PS recuperado puede utilizarse como material virgen, se está utilizando como capa interior en láminas fabricadas por coextrusión.

Otros reciclados

Al igual que los ejemplos expuestos para el polietileno y para el poliestireno, existen decenas de procesos de reciclado primario para otros materiales plásticos como el policloruro de vinilo, el politetrafluoroetileno (teflon), las poliamidas (nylon), poliuretanos, etc. Por otra parte, estos procesos utilizan residuos plásticos industriales procedentes de fabricaciones tan diversas como las de cables, fibras, textiles, menaje, electrónica, automoción, etc.

Ambas circunstancias harían muy larga su exposición, y creemos que se saldría del objeto del trabajo.

11. RECICLADO SECUNDARIO

Como ya se indicó, en este tipo de reciclado los objetos obtenidos a partir de los residuos plásticos tienen una forma y unas propiedades físicas totalmente diferentes a las del artículo que los originó. Normalmente los residuos plásticos de partida no son homogéneos, es decir, son una mezcla de plásticos diferentes entre sí, e incluso son mezclas de residuos plásticos con otros tipos de desechos (papel, madera, etc.).

Por el origen de los residuos plásticos podemos entonces decir que hay un reciclado secundario procedente de

- residuos plásticos industriales solos o mezclados;
- residuos plásticos urbanos.

La mayoría de los procedimientos de reciclado secundario emplean como materia prima los residuos plásticos industriales mezclados más que los urbanos. La razón principal es la continuidad y cantidad del suministro de residuos, lo que es fundamental al hacer un planteamiento industrial de su recuperación.

Los factores limitantes del reciclado, vistos anteriormente, tienen aquí una incidencia crítica en el reciclado secundario. En efecto, la incompatibilidad de los diferentes plásticos entre sí, el deterioro de las propiedades mecánicas de la mezcla por una mala formulación inicial de la misma, la degradación y reticulación inicial de los residuos y su contaminación inciden claramente sobre la calidad final del objeto fabricado a partir de la mezcla de plásticos. Los artículos así obtenidos no tienen ninguna aplicación que requiera unas exigencias mecánicas o estéticas elevadas, en líneas generales. Por ejemplo, los *scraps* de polietileno pueden utilizarse de diferentes modos tal y como se indica en la lista adjunta. Yendo hacia abajo en la lista, las especificaciones para los productos se hacen menos críticas. Consecuentemente, los residuos producidos en la fabricación de los productos que están en la parte superior de la lista. pueden ser reciclados a los productos de la lista situados más abajo.

PE bd	
Cables	alta
Film transparente	
Envases rígidos	
Film de aplicaciones generales	
Tubería	
Artículos moldeados	baja

a) *Reciclado secundario de residuos plásticos industriales*

Como en el caso del reprocesado y del reciclado primario propiamente dicho, estos residuos son los que, hasta el presente, tienen más interés desde el punto de vista de recuperación. Al igual que en los casos anteriores, también existe ya cierta tecnología lo suficientemente desarrollada como para permitir la existencia de equipos industriales. No obstante, se sigue trabajando en la puesta a punto de nuevos procesos y equipos.

Entre los ya existentes en el mercado, citaremos como más conocidos los siguientes:

Remarker de Kleindienst (República Federal de Alemania)

Este sistema reprocesa directamente las mezclas de residuos plásticos mediante moldeo por inyección. Estos equipos llegan a tener una capacidad de plastificación de hasta 150 kg/h. Utiliza mezclas de PE, PP, PS y PVC plastificado.

La principal característica de este equipo es un tornillo giratorio de plastificación con una zona de «desmenuzamiento» próxima a la zona de fusión, que arrastra a los residuos triturados a la zona de cizallamiento del tornillo. El material se inyecta a una presión relativamente baja mediante un aumento rápido de la velocidad de giro del tornillo. Existen más de 200 de estos equipos en Europa y fabrican maceteros, empuñaduras, postes, etc.

Reverzer de Mitsubishi Petrochemical Co. (Tokio, Japón)

Este proceso utiliza mezclas de recortes industriales, que primero homogeniza mediante el calor de fricción desarrollado en un extrusor. A continuación el material es transferido a un tornillo vertical que lo inyecta en los moldes, normalmente a baja presión. Como material de partida se utilizan recortes de recubrimientos de cables, bobinas de film obso-

letas, bobinas de film textiles, etc., y se producen así objetos de paredes gruesas como postes para cercas, bordillos de aceras, suelos de porquerizas, etc. Este proceso admite también la preparación de mezclas de residuos plásticos con otros tipos de desechos.

Existen dos modificaciones al proceso Reverzer que han alcanzado éxito industrial: i) la modificación desarrollada por *Laporte Industries* (Reino Unido), que permite el llenado simultáneo o secuencial de dos moldes. Con este proceso Laporte ha instalado una planta que permite tratar 2.500 Tm/año, que fabrica, entre otros objetos, vigas reforzadas con acero que miden hasta 1,3 m, y ii) la modificación realizada por *Rehsif S. A.* (Ginebra, Suiza), que ha incorporado al sistema un cabezal articulado que transporta el material hasta los moldes a una presión muy baja y que posteriormente se trasladan a una prensa donde las piezas se moldean a su forma final. Con este proceso se pueden fabricar piezas de paletas de hasta 25 kg y 120 cm de lado, pilotes marinos, cercas, etc.

Proceso Davo

Las mezclas de residuos plásticos son fundidas mediante un cilindro excéntrico y moldeadas por compresión para producir losetas, bordillos, pavimentos industriales, etc.

Proceso *Société Paturle*

Este proceso conduce realmente a la creación de un material nuevo, mediante la adición de ciertas cargas (serrín, carbonato cálcico, etc.) en cantidades de hasta un 70 % al polietileno recuperado. Se obtienen así productos con unas características mecánicas de interés que tienen aplicación en la industria del automóvil o en carpintería industrial.

Plastificador Patfoort (Bélgica)

Se trata de un plastificador desarrollado por el CRIF belga y fabricado actualmente por la firma FN, que permite obtener un producto transformable a partir de mezclas de residuos plásticos de artículos acabados o de gránulos sucios.

Regal Packaging Ltd. (Reino Unido)

Este proceso permite la fabricación de paletas por granulación, aglomeración y compresión de mezclas de residuos plásticos. Las paletas se fabrican a partir de planchas.

Proceso *Société Mox* (París, Francia)

Los *scraps* de film termoplástico se mezclan con recortes de fibras y/o virutas de madera. El calentamiento bajo presión de la mezcla formada produce un aglomerado de desperdicios. Se pueden usar residuos plásticos homogéneos o mezclados. Estos aglomerados encuentran aplicación en la construcción.

La compañía *Japan Synthetic Paper* tiene también un proceso similar.

Kabor Ltd. (Reino Unido)

Este proceso mezcla *scraps* de plástico con desperdicios de papel y carbón. La relación entre papel y plástico es aproximadamente de 1 a 2. El compuesto resultante tiene una notable resistencia a la tracción y buena resistencia química. Mediante un proceso de moldeo por compresión, fabrican paletas. Existe, funcionando, una fábrica con dicho sistema que trata 18.000 Tm por año.

— Procedimiento *Holzaptel Freres*

Quizá sea éste el proceso más rentable en la República Federal de Alemania y probablemente en el Mercado Común Europeo para la recuperación de residuos plásticos/textiles.

Estos residuos provienen de la fabricación y transformación de productos complejos que tienen forma de lámina y en los que los plásticos recubren la parte textil. Por ejemplo, tejidos plastificados, moquetas, fieltros, símil cuero, cintas transportadoras, etc. Estos productos tienen una o varias capas de plástico (PVC casi siempre) con una o varias láminas textiles.

Los residuos se seleccionan teniendo en cuenta las proporciones plástico/textil y el color. Los residuos así escogidos se reducen a pequeños fragmentos mediante un molino. A estos fragmentos se les añaden los aditivos en los silos de mezclado siguiendo fórmulas de composición ya establecidas. La granulación se efectúa mediante presión y plastificación.

La transformación tiene lugar en máquinas de inyección. Los gránulos obtenidos según el proceso *Holzaptel*, y que contienen fibras naturales y sintéticas, permiten la fabricación de productos de gran estabilidad dimensional, con elevada resistencia a la tracción y el desgaste. Se fabrican así esterillas para camiones y forros para pedales de mando.

b) *Reciclado secundario de residuos plásticos urbanos*

Ya se vieron, en el punto dedicado al estudio de la operatividad de los procesos de separación de los residuos plásticos del resto de los desperdicios, las limitaciones que la misma presenta, especialmente su baja rentabilidad. Con toda seguridad se puede decir que no es rentable separar únicamente los plásticos, y la rentabilidad de la planta de separación hay que buscarla en el aprovechamiento integral de todas las fracciones que se pueden separar (papel, metal, vidrio, plásticos, etc.).

Por otra parte, es importante señalar que el problema de la recuperación de los residuos plásticos urbanos es más un problema político y económico que un problema técnico.

En efecto, se citan a continuación dos ejemplos ilustrativos de su resolución técnica.

El primero de ellos es el de la fabricación de bolsas de basura a partir de residuos de film de PE bd en la planta de tratamiento de Roma, que trabaja sobre el reciclado de los residuos plásticos urbanos desde 1968. Como ya se dijo, el PE bd es el residuo plástico más frecuente en la basura.

Los principales problemas a resolver fueron los siguientes:

- la separación de PE bd de otros polímeros incompatibles con él;
- el lavado de los filmes contaminados por grasas, materia orgánica, briznas de madera, etc.;
- la eliminación del mal olor que el polietileno conserva, incluso después de granulado;
- el secado de los residuos una vez lavados.

Una vez resueltos los problemas mencionados, el producto se sometió a una fase de plastificación y recuperación en una extrusora que tiene un dispositivo especial que permite comprimir el producto en el cilindro de la misma. El diámetro de la extrusora es de 160 mm y su longitud es igual a 35 diámetros, con un tornillo de longitud ligeramente sobredimensionada con el objeto de obtener una buena homogeneización, toda vez que los residuos de PE bd tienen índices de fluidez diferentes entre sí.

Para eliminar la humedad residual, el extrusor está equipado con una bomba de degasificación a vacío.

A la salida de la extrusora, un cambiador de filtros retiene las impurezas que pudiesen haber llegado a ese punto. Un sistema de granulación refrigerado completa el equipo.

Cada lote de 5 toneladas es sometido a un control del índice de fluidez, parámetro crítico en la técnica de extrusión por soplado, que está comprendido entre 1,3 y 2.

Este producto granceado se mezcla, entre un 30 y un 40 %, con materia virgen y se procede a la extrusión y fabricación de bolsas para recoger basuras, destinadas a la ciudad de Roma. La proporción tan elevada de materia virgen se debe a la necesidad de obtener un film que cumpla las exigencias de las normas de calidad. Además de la obtención de bolsas de basura, el material es también adecuado para obtener filmes de uso en agricultura.

El segundo ejemplo recoge el proceso desarrollado por el CRIF (*Centre de Recherches de la Federation Belge des Industries de Fabrication Metallique*) para el reciclado de residuos plásticos urbanos recogidos selectivamente.

Se trata de un plastificador de tornillo corto que, en lugar de realizar un simple mezclado de los diferentes constituyentes de los residuos plásticos, lo que hace es una dispersión de unos en otros, con lo que minimiza la incompatibilidad entre los diferentes polímeros. El tornillo corto (véase la figura 9) es un tornillo de tres filetes y con una relación $L/D = 5$. Está cortado por un extremo perpendicularmente a su eje. El disco frontal plano así obtenido gira cara a la extremidad fija del cilindro y el espacio entre estos dos platos constituye una zona de cizallamiento donde el efecto de dispersión puede compararse al de un plastificador de disco.

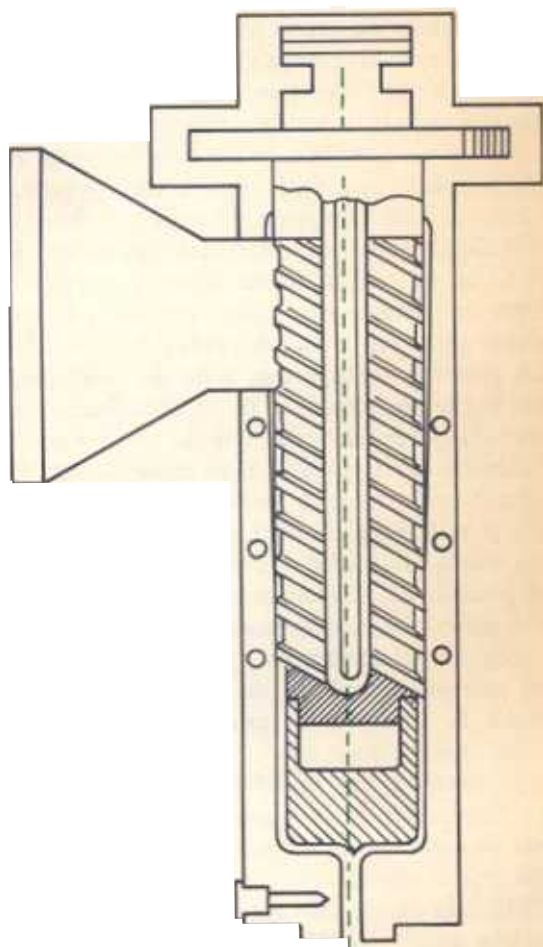
El tornillo ejerce, por cada una de sus tres entradas del filete, una presión equilibrada sobre el material en estado sólido. Esta masa es comprimida bajo el efecto conjunto de la presión ejercida por el tornillo y de la parte del material que está sobre el cilindro. Una vez entre los dos platos, el material en estado sólido es cizallado fuertemente y pasa al estado fundido, debido a que el proceso de cizallamiento es exotérmico.

Este proceso está especialmente diseñado para residuos de plásticos urbanos, recogidos selectivamente, y se han obtenido resultados positivos en inyección, extrusión de placas, de tubos, soplado de cuerpos huecos y termoconformado. Se obtienen así productos de aplicación en la construcción, saneamiento, horticultura, etc.

De conformidad con lo informado, las propiedades mecánicas de los productos resultantes de la recuperación de los residuos plásticos urbanos, según este proceso, son muy prometedoras comparadas con las de los materiales plásticos originales.

El CRIF está elaborando actualmente un estudio, subvencionado por la CEE, de una instalación piloto susceptible de recuperar los desechos plásticos urbanos de una ciudad de tipo medio (200.000 habitantes).

Figura n.º 9



2. RECICLADO TERCIARIO

Como se indicó en el punto 2 (definición de términos), en este tipo de reciclado los residuos plásticos se convierten en productos no plásticos, tales como aceites, ceras, grasas, monómeros o simplemente energía.

Es muy difícil articular una subdivisión dentro del reciclado terciario. No obstante, lo dividiremos en un reciclado energético y en un reciclado químico.

Dentro del reciclado energético incluiremos los procesos de incineración y de pirolisis. Ahora bien, la pirolisis, que inicialmente fue concebida como un método de obtención de productos combustibles, cada vez se está enfocando más como un sistema de recuperación de materias primas susceptibles de ser utilizadas en la síntesis orgánica, es decir, como un reciclado químico.

En el reciclado químico incluiremos algunos ejemplos tales como los procesos de hidrolisis, obtención de monómeros y *cracking*.

Reciclado energético

i) *Incineración*. Todos los residuos combustibles, incluyendo los plásticos, tienen una energía latente o potencial calorífico que puede liberarse en forma de calor. Quiere esto decir que la incineración de los residuos urbanos es una manera de reciclado térmico y, por tanto, de recuperación de energía.

En efecto, como puede apreciarse en la figura 10, los residuos plásticos tienen un contenido calorífico notablemente superior al de otros desperdicios presentes en las basuras o en los desechos industriales.

Por lo tanto, la aportación de los residuos plásticos a la producción de calor mediante la incineración de las basuras y desechos es positiva. Según estimaciones, este tratamiento es susceptible de recuperar un 30 % de la energía contenida en los plásticos. Por otra parte, presentan la característica de que no dejan prácticamente residuos al quemarse.

Figura n.º 10

PODER CALORIFICO DE DIFERENTES PRODUCTOS DE DESECHO.

PAPEL	16.700 KJ/Kg.	
PVC	18.800	
CUERO	18.800	
GRASAS	37.700	
GASOIL	44.000	
POLIETILENO	46.000	
POLIESTIRENO	46.000	

Sin embargo, como ya se indicó, la combustión de los plásticos en las basuras ha comportado hasta el presente una serie de posibles inconvenientes en las plantas urbanas de incineración. Hoy día se han obviado estos inconvenientes con el desarrollo de nuevos materiales y el diseño de nuevos equipos, según veremos a continuación.

Como ya es sabido, la energía calorífica producida en los incineradores se aprovecha posteriormente para la producción de vapor y electricidad, etc. Se ha estimado que la producción de electricidad es sólo rentable en comunidades de más de 200.000 habitantes.

Los residuos plásticos van inmersos en la masa de productos vegetales y celulósicos de la basura urbana con que se alimentan los hornos de incineración. La mayoría de los restos de plásticos se quedan en exceso de aire como cualquier combustible, produciendo agua y anhídrido carbónico. Los plásticos que en su cadena contengan halógenos como cloro y flúor, producen al arder los correspondientes hidrácidos.

Hasta el momento, los polímeros fluorados (el teflon fundamentalmente), dado todavía su limitado uso en las aplicaciones domésticas, no provocan problemas importantes. Sin embargo, los residuos plásticos de policloruro de vinilo, dependiendo de su proporción en los residuos sólidos urbanos, pueden producir cantidad de cloruro de hidrógeno suficiente para causar daño en la instalación. Por otra parte, este cloruro, emitido a través de la chimenea, produce ácido clorhídrico que queda en la atmósfera como un contaminante más.

Sin embargo, conviene matizar que no todo el ácido clorhídrico producido proviene de la combustión del PVC; una cantidad sensible proviene de la combustión de algunos componentes de los residuos urbanos, como pueden ser, por ejemplo, los restos de alimentos, el papel, los cauchos, los cueros, etc.

En lo que se refiere al problema de la corrosión de las partes metálicas de la instalación, la misma afecta sobre todo a los sobrecalentadores, precisamente por la elevada temperatura (400° C) a que éstos se encuentran. En los depósitos analizados de los tubos se ha encontrado un contenido en cloruro entre 2 y 5 %, cifra muy elevada teniendo en cuenta que el 0,5 % es suficiente para iniciar la corrosión. Estudios realizados sobre el proceso de corrosión parecen confirmar que, además de la temperatura, se debe a la presencia de cloro, azufre, sodio y potasio en los humos.

En la actualidad, en las plantas municipales de incineración el problema de la corrosión está siendo resuelto con la sustitución de las partes afectadas por otras construidas por la aleación Incoloy, de gran resistencia, y experimentada con éxito en la planta incineradora de Boston.

Ha sido recogido en la bibliografía que el elevado poder calorífico de los plásticos puede causar problemas en los incineradores de diseño y cons-

niente se obviaría disminuyendo la alimentación de residuos.

Los nuevos diseños de plantas de incineración y el desarrollo de nuevos materiales han resuelto estos inconvenientes técnicos. Incluso, dada la especificidad de los residuos plásticos, se han desarrollado incineradores especialmente diseñados para la combustión exclusiva de los mismos, que no se van a describir detalladamente por estar fuera del propósito de estas páginas.

Estos incineradores especiales utilizan como materia prima los residuos plásticos industriales que no han podido ser tratados por alguno de los procesos ya descritos en este trabajo. La mayoría de este tipo de incineradores son de combustión directa, es decir, los residuos se incineran primero y los gases producidos se queman posteriormente en su totalidad en unas cámaras de postcombustión. Pueden ser de lecho fijo o de lecho fluidizado y tener o no *scrubbers* para lavar los gases residuales y eliminarlos.

Algún otro sistema está basado en la combustión indirecta. Este es el caso de los incineradores de decloración por destilación seca, utilizados para quemar residuos de PVC. En ellos el cloruro de hidrógeno se elimina primero por dehidrocloración y después se quema en el horno de combustión. Los gases residuales, una vez aprovechado su contenido calorífico, se depuran en un colector y se descargan.

Además de la posible corrosión en incineradores viejos, hemos visto que se produce en general una evolución de ClH en la atmósfera. Sin embargo, según Huffman y Keller —de la *Environmental Protection Agency* (EPA), de los Estados Unidos—, en términos de toneladas, el ClH no puede compararse con contaminantes como el SO_2 , CO, NO_x y otros. Por lo tanto, concluyen, la emisión de CH no representa problema alguno en la inmediata vecindad de plantas municipales de incineración.

En efecto, las cantidades de cloruro de hidrógeno que se producen durante la combustión del PVC vienen a ser de un 25 % cuando lo que se quema es un PVC plastificado y un 50 % cuando es un PVC rígido. La proporción de PVC dentro de los residuos sólidos urbanos está comprendida entre 0,5 a 0,9. Controles efectuados en diferentes naciones en hornos incinerados urbanos dan unos valores de emisión de ClH entre 50 y 400 mg/Nm³, dependiendo, como es lógico, de la concentración de PVC en las basuras y del tipo de instalación.

ii) *Pirolisis*. Este método que no sólo se está aplicando a los residuos plásticos, sino también a otros tipos de desechos orgánicos, implica su conversión en productos combustibles y en productos químicos utilizables como materias primas.

La utilidad de la pirolisis está siendo examinada en diversos lugares. Así, en Alemania, la Universidad de Hamburgo, junto con las autoridades federales y la Federación de Productores de Plásticos, está investigando el proceso. Igualmente está siendo investigada por el Departamento de Industria del Reino Unido. Sin embargo, es pronto para juzgar todavía su valor como proceso de reciclado hasta que no haya más progreso en el desarrollo de esta técnica. Una pregunta que este futuro desarrollo tiene que contestar es la rentabilidad del método como fuente de extracción de energía frente a la incineración.

Es preciso distinguir entre una pirolisis a baja temperatura, que fundamentalmente conduce a fracciones alifáticas, y una pirolisis a alta temperatura, en la que se aromatizan las fracciones alifáticas.

Pirolisis a baja temperatura. Este tipo de pirolisis, estudiada ya en 1973 por la firma alemana *Ruhrchemie*, utiliza cera de polietileno calentada hasta 400° C como medio de reacción para descomponer los residuos de polietileno en aceites de bajo punto de fusión, que contienen una cantidad relativamente grande de olefinas, cera y hollín. Los productos de más interés son las fracciones con un punto de ebullición bajo y que contienen olefinas (aproximadamente el 95 % de la cantidad inicial) y que se pueden utilizar como materia prima en la síntesis orgánica. La cera y el hollín son extraídos de forma discontinua de la caldera.

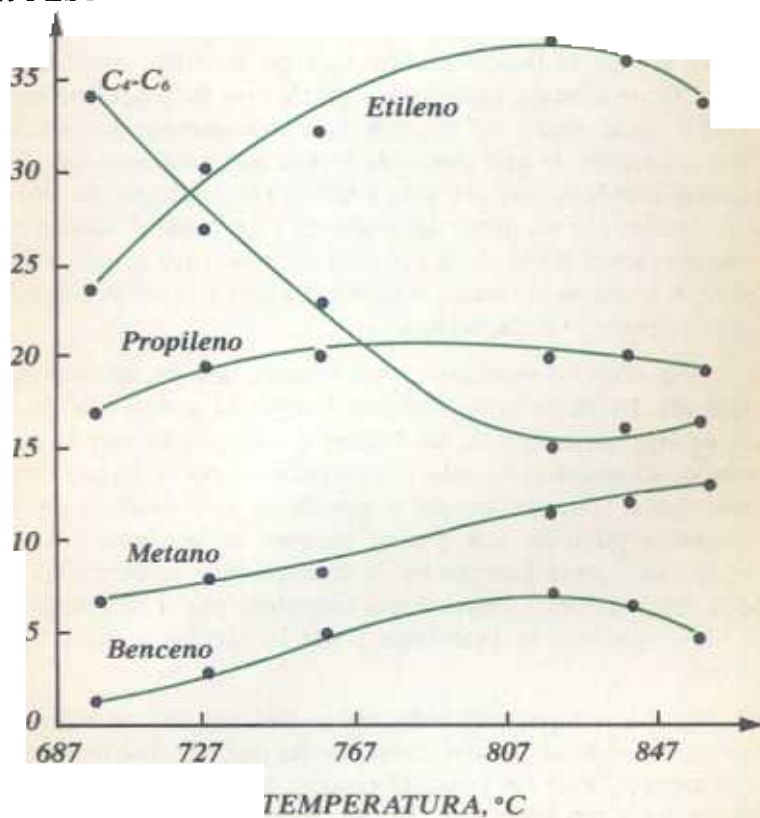
Pirolisis a altas temperaturas. Posiblemente sea la Sección de Química Aplicada del Instituto de Química Inorgánica y Aplicada de la Universidad de Hamburgo uno de los lugares donde más se está investigando este proceso. El objetivo de estas investigaciones no es el uso del poder calorífico, sino el conocimiento del contenido de los productos pirolizables en los residuos plásticos. Los previos ensayos de laboratorio de Menzel hicieron aparecer como interesantes la concepción y construcción de una instalación industrial. Este proyecto está auspiciado por el Ministerio Federal para la Investigación y la Tecnología y por la Asociación de Productores de Plásticos.

Para construir la instalación industrial se hicieron ensayos en un reactor prototipo con un sistema de calefacción por gas que permitió obtener temperaturas de hasta 877° C. La figura 11 muestra algunos resultados obtenidos con este reactor y con polietileno. Utilizando nitrógeno como gas de fluidificación, y en comparación con los ensayos de laboratorio, la proporción de benceno es asombrosamente elevada y aumenta con la temperatura hasta alcanzar un máximo de 820° C. Un comportamiento parecido se observa para el etileno y el propileno.

Figura n.º 11

PIROLISIS DE POLIETILENO EN UN REACTOR PROTOTIPO INDUSTRIAL. GAS DE FLUIDIFICACION: NITROGENO.

% PESO



**COMPOSICION DE ALGUNOS PRODUCTOS FRACCIONADOS DE
LA PIROLISIS DEL POLIETILENO A 810° C**

Producto	Gas de pirólisis		Fracción de	Fracción de	Fracción de	Fracción de
	% peso	% vol.	p. eb. bajo	p. eb. del	p. eb. del	p. eb. alto
			% peso	% peso	% peso	% peso
Hidrógeno	2,1	20,7				
Metano	32,3	40,8				
Etano	10,5	7,1				
Etileno	30,6	22,2				
Propileno	12,2	5,9				
Buteno	3,9	1,4	3,1	0,3	0,1	
Ciclopentadieno	0,7	0,2	10,6	0,1		
Benceno	3,9	1,0	76,9	97,9	47,6	
Tolueno	0,6	0,2		0,9	51,9	0,1
Xileno	0,3	0,1			0,2	1,0
Estireno						2,3
Indeno						4,4
Naftaleno						24,5
Otros	2,9	0,4	16,5	12,1	6,6	63,80

en aceites combustibles y el 5 % en gas. El Departamento de Energía de los Estados Unidos y la *Procedyne Corporation* planean construir una planta que trataría unas 10.000 Tm/año de residuos de polipropileno.

b) *Reciclado químico*

i) *Hidrolisis*. Es la recuperación de materias primas por hidrolisis de los desechos de los materiales plásticos.

Podría decirse que son hidrolizables por principio todos los materiales plásticos que han sido sintetizados por condensación. Estos productos comprenden polímeros tan diferentes entre sí como las poliamidas, los policarbonatos y los poliuretanos. Sin embargo, por ser productos tan estables, para conseguir su rotura hace falta provocar una hidrolisis en condiciones muy severas.

Entre los procesos que ya están desarrollados figuran los que mencionamos a continuación.

Hidrolisis de espumas de poliuretanos. Este proceso ha sido desarrollado por *Bayer AG*, bajo un programa de investigación patrocinado en Alemania por el Gobierno Federal. Hacía años ya que se trabajaba en la industria en la recuperación de los residuos de espumas de PU. *Goodyear*

y *Mobay* disuelven los residuos de espumas en un poliol o una poliamida calientes, que constituyen así una mezcla reactiva frente a los isocianatos; Wyandotte recupera el poliéster y la diamina por un procedimiento costoso de hidrólisis alcalina; recientemente Upjohn ha publicado un procedimiento para degradar la espuma rígida de PU por reacción con los glicoles, etc. Pero en ninguno de estos casos se produce la hidrólisis pura que da los productos de partida, que es lo que se consigue en el proceso desarrollado por *Bayer*.

En el tratamiento de los *scraps* de espuma de poliuretano de tipo poliéster se produce una hidrólisis por reacción con agua a 200-230° C de temperatura y a una presión de 1 a 2 Mpa. El proceso de hidrólisis rompe las cadenas entrecruzadas del polímero y da al poliéster original la amina básica (TDA) correspondiente al TDI y dióxido de carbono.

El proceso se lleva a cabo en un extrusor que lleva dos tornillos, girando en el mismo sentido, adecuadamente modificado con un control apropiado de la temperatura y la presión, según se muestra en la figura 13.

El *scrap* es alimentado en la tolva triturado en forma de copos o polvo, es comprimido en la primera sección, hidrolizado a continuación en la segunda sección, donde también se introduce el agua. Por fin el producto completamente hidrolizado, compuesto esencialmente por el poliéster y de la amina, es extraído gracias a un sistema de reducción de presión. El resto del agua de reacción se evapora a la salida del aparato cliente. El CO₂ formado se ventea también en el sistema de reducción de presión.

De conformidad con *Bayer*, esta técnica puede ser aplicada igualmente a los otros materiales plásticos hidrolizables enunciados anteriormente. Los ensayos realizados han demostrado que la instalación permite trabajar a temperaturas, presiones y tiempos de residencia suficientes para hidrolizar espumas rígidas de poliuretano, poliésteres, poliamidas y policarbonatos.

Hidrólisis de residuos de poliamidas. Existen varios tipos de poliamidas que dan lugar a una importante cantidad de residuos en forma de hilos. En la industria, los hilos de poliamida frecuentemente se tejen con hilos de viscosa o acrilonitrilo. Las poliamidas más utilizadas son la PA6 y la PA66. Aunque, en principio, ambas son hidrolizables, no es posible realizar en la práctica la hidrólisis de la PA66.

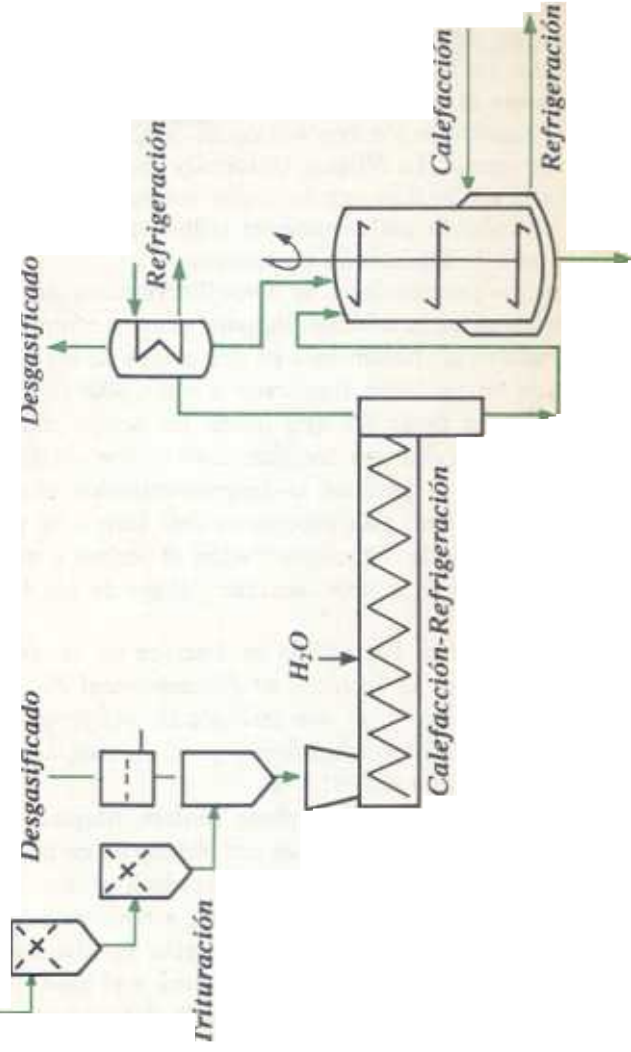
La hidrólisis de la poliamida PA6 da lugar a la correspondiente caprolactama. Esta caprolactama puede utilizarse en la síntesis de la misma PA6 o de combinaciones derivadas, como son las combinaciones PA-6, PA-66 y PA-PE (poliamida-poliétileno), que son fácilmente extrusionadas.

ii) *Obtención de monómeros.* Este tipo de reciclado se refiere a la obtención de los productos de partida (monómeros) por otros métodos distintos que la hidrólisis.

Figura n.º 13

ESQUEMA DE INSTALACION PARA HIDROLISIS.

**RESIDUOS DE
MATERIALES
PLASTICOS**



como es el caso de la descomposición por calor del polimetacrilato de metilo, procedimiento conocido desde antiguo. También es, relativamente, la descomposición en sus monómeros de partida del polietilentereftalato por metanolisis.

El resto de los materiales plásticos se descomponen con más dificultades e incluso, en muchos casos, las investigaciones y experimentaciones realizadas hasta el presente han sido negativas.

La transformación con hidrógeno a altas temperaturas conduce a resultados de interés. La *Nippon University* describe un procedimiento en el que el poliestireno se descompone a alta temperatura en una atmósfera de hidrógeno, obteniendo exclusivamente etilbenceno, que se puede utilizar nuevamente para la fabricación de estireno.

Ensayos prometedores de despolimerización del polietilentereftalato han sido descritos en la bibliografía para reciclar *scraps* de dicho polímero. Para ello se utiliza un tratamiento en dos etapas de los residuos con vapor sobrecalentado en un lecho fluidizado a unos 300° C. En la primera etapa, los contaminantes orgánicos que llevan los *scraps* son eliminados como volátiles, debido a que son térmicamente menos estables que el PTFE. En la segunda etapa se produce la despolimerización al tetrafluoroetileno monómero. En realidad, este proceso es una forma de pirólisis. El rendimiento aumenta cuando la despolimerización se realiza a vacío. Se han dado rendimientos del 85 % a presiones por debajo de los 150 mm de Hg.

iii) *Cracking*. Por último se describe un reciente proceso desarrollado en Sudáfrica por el *Institute of Petrochemical Research* de la Universidad de Potchefstroom, en el que residuos de polipropileno son sometidos a un *cracking* catalítico con hidrógeno para obtener combustibles líquidos, con conversiones hasta del 91,5 %.

Los residuos de polipropileno (bolsas, filmes y otros tipos de envases) se calientan y hacen reaccionar con hidrógeno en presencia de un catalizador de cobalto-molibdeno, siendo «crackeados» a continuación. Los tiempos de retención oscilan entre 30 y 75 min., a temperaturas entre 400 y 450° C y presiones desde 100 a 150 atm. Se están estudiando los productos líquidos obtenidos como sustitutos de la gasolina y el gas-oil.

Con estos ejemplos se ha intentado dar una idea de las esperanzadoras posibilidades que esta clase de reciclado puede presentar en el futuro. Como en los otros tipos de reciclado, son ya múltiples los procesos y experiencias realizadas en esta nueva dirección, que parece confirmar lo erróneo de las posturas que propugnan como única alternativa la destrucción de los residuos plásticos por incineración.



REFERE AS

- J. Sánchez Alvarez, F. Pablo Cristóbal y A. Palomares López. «Plásticos y residuos sólidos urbanos», *Primer Seminario sobre Residuos Sólidos Plásticos (ANQUE)*, abril 1979.
- «Perspectives de Recyclage des Dechets Plastiques en Belgique», *Journée d'etude*, Bruselas (10 mayo 1978).
- «The recycling of plastics», Bruselas, BIT, pág. 8.
- O. Laguna, Palomeras López y Sánchez Almaraz. «Reciclado de residuos sólidos urbanos», en *Revista Plásticos Modernos*, octubre 1978.
- G. L. Huffman y D. J. Keller. *Polymers and Ecological Problems*. Plenum Press, New York-London, 1973, pág. 156.
- J. Brandrup. «La recuperación de materiales plásticos», en *Plásticos Universales*, 1976/4, página 137.
- T. F. Yen. *Recycling and Disposal of Solid Wastes*. Ed. Ann Arbor Science, pág. 219.
- The recycling of plastic materials*, BIT, Bruselas, 1976.
- R. Garzón Sánchez. «Sistemas y perspectivas en la recuperación de residuos sólidos plásticos». *Primer Seminario sobre Residuos Sólidos Plásticos (ANQUE)*, abril 1979.
- Modern Plastics International*, jul. 1976, pág. 17.
- Modern Plastics International*, nov. 1977, pág. 10.
- Modern Plastics International* dic. 1977, pág. 20.
- Modern Plastics International*, oct. 1978, pág. 8.
- R. Anguita. «La incineración de los plásticos», *Primer Seminario sobre Residuos Sólidos Plásticos (ANQUE)*, abril 1979.
- A. Alonso Bretón. «Problemas derivados del tratamiento por incineración de los materiales plásticos vinílicos», *Primer Seminario sobre Residuos Sólidos Plásticos (ANQUE)*, abril 1979.
- Actas del Coloquio sobre «La recuperación de materias plásticas», Estrasburgo, 1-2 junio 1978, Ecole d'Application des Hautes Polymères (*Materiaux et Techniques*, abril 1978).
- J. Milgrom. *Recycling Plastics*. Arthur D. Little, Inc. *Chemical Engineering*, 18 junio 1979, págs. 124 y 126.
- Chemical Week*, 22 noviembre 1978, pág. 14.
- O. Laguna y R. Arganza. «Estudio para el aprovechamiento de los residuos de los materiales plásticos», en *Rev. Plásticos Modernos*, diciembre 1978.

CUADERNOS PUBLICADOS

- El CIFCA y la formación ambiental.
2. Las evaluaciones de impacto ambiental.
 3. Evaluación económica del impacto ambiental
 4. Tres casos de impacto ambiental: Aeropuerto - Embalse con central hidroeléctrica - Vertedero de residuos.
 5. Impacto ambiental: Refinería de petróleo. Fábrica de pasta de papel.
 6. Impacto ambiental de centrales nucleares
 7. Aguas subterráneas. Problemas generales de la contaminación.
 8. La formación ambiental en América Latina
 9. Una experiencia de ecodesarrollo. El caso de Santa Marta, Colombia.
 - 10 y 11. El medio físico y la planificación. I y II
 12. Contaminación de aguas subterráneas: Modelos de simulación.
 13. Aguas subterráneas. Contaminación urbana, industrial y agrícola.
 14. Aguas subterráneas: Inyección de aguas residuales. Contaminación minera y radiológica. Aspectos económicos e institucionales.
 - 15, 16, 17 y 18. La tecnología latinoamericana. Seminario sobre nutrición y vivienda, I, II, III y IV.
 19. Residuos sólidos plásticos. Tratamiento y reciclado.

Precio: Pesetas 300,00