

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y MANUFACTURERA



“ PERFIL TÉCNICO DEL RECICLAJE DE BOTELLAS PET”

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERA QUÍMICA

PRESENTADO POR:

MARINA CECILIA CACHAY MONTALVÁN

PROMOCIÓN 89 – 1

Mayo 2002

A Marinita, mi pequeña hija, fruto
del amor y el mejor suceso de mi
vida.

AGRADECIMIENTO

Agradezco de manera especial a mis amados padres Esperanza y Virgilio, por su invaluable apoyo durante todas las etapas de mi vida, inculcándome siempre a seguir adelante en los estudios.

A mi querido esposo Martín por su comprensión durante los meses dedicados al Curso de Actualización.

A mi Asesor: Ing. Walter Zaldivar por la ayuda prestada para la elaboración del presente trabajo.

A la Ing. Julia Salinas García por la realización del Primer Curso de Actualización.

A los profesores que dictaron el Curso de Actualización, primer paso en esta modalidad para obtener el título profesional.

Un agradecimiento especial a mis amigas, compañeras de estudios: Emma Cortés, Lida Anaya, María Cáceres y Guiliana Yong, quienes constantemente me alentaron a concluir este Informe.

A mis compañeros de trabajo en Duquímica S.A., por incentivar me a seguir adelante.

A mi amiga Milagros Albán, por su apoyo incondicional.

Y a todas las demás personas que de una u otra manera me han apoyado en la realización de este Informe de Suficiencia.

INDICE

Capítulo I. Introducción

Capítulo II. Reciclaje de botellas PET

2.1 Residuos asociados a las botellas PET post-consumo

2.2 Características de la resina PET para botellas

2.3 Tipos de Reciclaje

2.3.1 Reciclaje primario

2.3.1.1 Descripción

2.3.1.2 Proceso

2.3.1.3 Aplicaciones

2.3.2 Reciclaje secundario

2.3.2.1 Descripción

2.3.2.2 Proceso

2.3.2.3 Aplicaciones

2.3.3 Reciclaje terciario

2.3.3.1 Descripción

2.3.3.2 Proceso

2.3.3.3 Aplicaciones

2.3.4 Reciclaje cuaternario

Capítulo III. Selección de método de reciclaje

Capítulo IV. Conclusiones y recomendaciones.

Capítulo V. Bibliografía

Capítulo VI. Apéndices

Apéndice A: Reciclado químico de plásticos

Apéndice B: Especificaciones técnicas de resina PET MITSUI

Apéndice C: Concreto polimérico a partir de botellas descartables

RESUMEN

El descubrimiento del poliéster termoplástico llamado poli etilentereftalato y que se conoce comúnmente como PET fue en 1941, teniendo desde entonces un continuo desarrollo tecnológico debido a sus propiedades físicas, utilizándose actualmente en el envasado de gaseosas, agua purificada, aceite comestible, entre otros.

El uso indiscriminado de este plástico, sobre todo en forma de botellas, produce problemas ambientales, que van desde el mal aspecto estético, al encontrar las botellas dispuestas en calles, terrenos baldíos, estacionamientos, alcantarillas y otros lugares, hasta la disminución del volumen efectivo de los camiones recolectores y vertederos debido a su muy lenta biodegradación. Además, al degradarse, debido al contenido de aditivos, se producen residuos que son altamente contaminantes.

Por lo tanto, debido a su gran uso y consumo es de vital importancia hacer un estudio sobre el reciclaje de este material. En este trabajo se hará referencia principalmente a las botellas PET utilizadas como envases de gaseosas o bebidas carbonatadas.

Al lograr reciclar el plástico PET, también evitamos el alto consumo de petróleo y disminuimos la emisión de contaminantes sólidos, líquidos y gaseosos, al fabricar la resina PET virgen.

Presentaremos los cuatro tipos de reciclaje de PET:

- **Primario:** Para residuos procedentes del proceso de fabricación de las botellas.
- **Secundario:** Residuo procede de una pieza ya utilizada.
- **Terciario:** También conocido como reciclaje químico, en donde las cadenas moleculares se reducen hasta obtener los monómeros iniciales o productos intermedios de bajo peso molecular que pueden servir de materia prima para la polimerización.
- **Cuaternario:** Recuperación de la energía, es decir, el residuo plástico se emplea como combustible.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Es de gran importancia conocer el rápido desarrollo industrial que han tenido los plásticos para empacar o envasar alimentos, bebidas y otros productos. Estos materiales son desechados de industrias, casas habitación, hoteles, centros recreativos, restaurantes, escuelas y hospitales en diversas partes del país y del mundo, en forma de empaques, embalajes y envases o botellas.

Al siglo XX se le puede considerar como el inicio de la “edad del plástico”, destacándose el descubrimiento del poliéster termoplástico llamado poli (etilen tereftalato) y que se conoce comúnmente como PET. Este fue patentado como un polímero para fibra por J. R. Whinfield y J. T. Dickson en 1941, teniendo desde entonces un continuo desarrollo tecnológico debido a sus propiedades físicas, utilizándose actualmente en el envasado de bebidas gaseosas, agua purificada, aceite comestible, entre otros.

Por lo tanto, debido a su gran uso y consumo, es de vital importancia hacer un estudio del reciclaje de este material. En este trabajo se hará referencia principalmente a las botellas PET utilizadas como envase de bebidas gaseosas o carbonatadas. En el Apéndice A se muestra el ciclo de vida y las diversas formas de reciclar los plásticos.

El uso indiscriminado de este plástico, sobre todo en forma de botellas, produce problemas ambientales que van desde el mal aspecto estético, al encontrar los envases dispuestos en calles, terrenos baldíos, estacionamientos, alcantarillas y otros lugares, hasta la disminución del volumen efectivo de los camiones recolectores y vertederos debido a su muy lenta biodegradación. Además, al degradarse, sobretodo por el contenido de aditivos tóxicos, se producen residuos muy contaminantes.

Al lograr reciclar el plástico PET, además de evitar el aumento del problema estético y de volumen de recolección, también evitamos el alto consumo de petróleo y disminuimos la emisión de contaminantes sólidos, líquidos y gaseosos, al fabricar resina PET virgen.

Al hablar de reciclaje es necesario tocar un punto que está muy ligado a él, que es lo que comúnmente llamamos basura.

Sin embargo este tema no sólo es materia de preocupación de los municipios o empresas de limpieza, sino es un problema que nos afecta a todos los ciudadanos, por lo que se convierte en responsabilidad de cada uno de nosotros.

Por qué razón reciclar:

- Ayudamos a la conservación del medio ambiente.
- Colaboramos con la limpieza y belleza de la ciudad.
- Se educa a la comunidad en el manejo de residuos sólidos.
- Genera empleo y aporta ingresos a las familias e instituciones como el municipio, colegios, etc.
- Ahorra costos en la industria, menor consumo de materias primas vírgenes y a la vez disminuye el consumo de energía.
- Ahorra costos de recolección y disposición final de la basura, si segregamos o separamos los residuos antes de tirarlos al tacho, como actividad paralela al trabajo de las empresas de limpieza pública.
- Se contribuye a disminuir la contaminación al volver a usar una materia que puede ser contaminante.

En general, el alejamiento de los recursos naturales, las dificultades para importar materias primas, la carencia de divisas, el alto costo de la energía, son problemas crecientes que están convirtiendo al reciclaje en una oportunidad, que a su vez es solución parcial a problemas crecientes como el de la limpieza pública, la generación de empleo para muchas personas que pueden hacer del reciclaje un negocio, otra industria, un servicio a la sociedad.

Los envases son necesarios. Lo que no son necesarios ni deben convertirse en consecuencias inevitables, son los efectos ambientales que hemos descrito y que mediante una adecuada gestión pueden evitarse desde la concepción y el diseño del envase.

En el Perú, el 06 de enero 2002 se publicó en el diario oficial El Peruano el Decreto de Alcaldía N° 147 de la Municipalidad de Lima Metropolitana, mediante

el cual se aprueba el Reglamento de la Ordenanza Municipal N° 295/MML "Sistema Metropolitano de Gestión de Residuos Sólidos", de conformidad con la Ley N° 27314, 21 julio 2000.

El Reglamento contempla todo lo relacionado con la naturaleza, segregación, recolección, transporte y disposición de los residuos sólidos generados por las viviendas, mercados, hospitales, industrias, playas y restaurantes en general.

Después del plazo de 180 días, contados a partir del 07 de enero 2002 , la basura deberá ser desechada siguiendo la siguiente clasificación:

- Residuos orgánicos : bolsas azules.
- Residuos inorgánicos recuperables (papel, latas, vidrio, cartón, plásticos): bolsas verdes.
- Residuos no reciclables o aprovechables: bolsas negras.

Es así como nosotros estamos dando el paso inicial en esta gestión tan importante para la protección del medio ambiente.

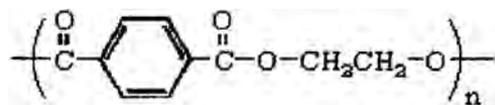
CAPITULO II: RECICLAJE DE BOTELLAS PET

2.1 Residuos asociados a las botellas PET post-consumo

Uno de los principales problemas asociados con la recolección de materiales mezclados es la separación de los materiales contaminantes. Para el manejo del PET las principales fuentes de contaminación son los residuos de películas y el vidrio roto. Las películas provienen normalmente de las bolsas en las cuales se empacan los desperdicios en los hogares. Se ha podido demostrar que residuos tan bajos como 4% de películas en botellas, requieren una dedicación entre 20 y 60% de las tareas de separación en las unidades de tratamiento. El problema de la contaminación del vidrio roto se disminuye acortando el tiempo de almacenamiento de los desperdicios mezclados, hasta el punto que se aconseja efectuar la separación de las botellas plásticas el mismo día de llegada de los desperdicios a las plantas de tratamiento.

2.2 Características de la resina PET para botellas

El PET, poli (etilen tereftalato), es un poliéster saturado, termoplástico, con la siguiente configuración:



En el Apéndice B se muestran las especificaciones técnicas para la resina PET para botellas, producida por Mitsui Chemicals..

Parámetros de caracterización.-

- Viscosidad Intrínseca:

El parámetro de caracterización más importante del PET es la Viscosidad Intrínseca.

Cuando se disuelve una muestra de polímero en un disolvente, se observa que la solución se hace muy viscosa. La viscosidad es una medida del tamaño de la molécula y, por consiguiente, puede esperarse que sea muy grande para una solución de polímero.

Puesto que nos interesamos por la contribución de la molécula de polímero a la viscosidad de una solución, es conveniente definir varios términos. La viscosidad relativa η_r se define como

$$\eta_r = \frac{\eta}{\eta_0}$$

En donde η y η_0 son las viscosidades de la solución de polímero y el disolvente, respectivamente. El aumento relativo de viscosidad debido al polímero se denomina viscosidad específica, η_{sp} .

$$\eta_{sp} = \frac{\eta - \eta_0}{\eta_0} = \eta_r - 1$$

La viscosidad reducida, η_{sp}/c es:

$$\frac{\eta_{sp}}{c} = \frac{\eta_r - 1}{c}$$

En donde c está dada habitualmente en gramos de polímero por 100 mL de solución. Obviamente, la viscosidad reducida es una medida de la contribución promedio de las moléculas de polímero en la concentración c a la viscosidad de la solución. Esta cantidad depende de las interacciones intermoleculares entre las moléculas de polímero y entre el polímero y las moléculas del disolvente. Con el fin de eliminar la interacción polímero-polímero, y obtener así la contribución a la viscosidad, de una molécula de polímero simple se utiliza el siguiente procedimiento:

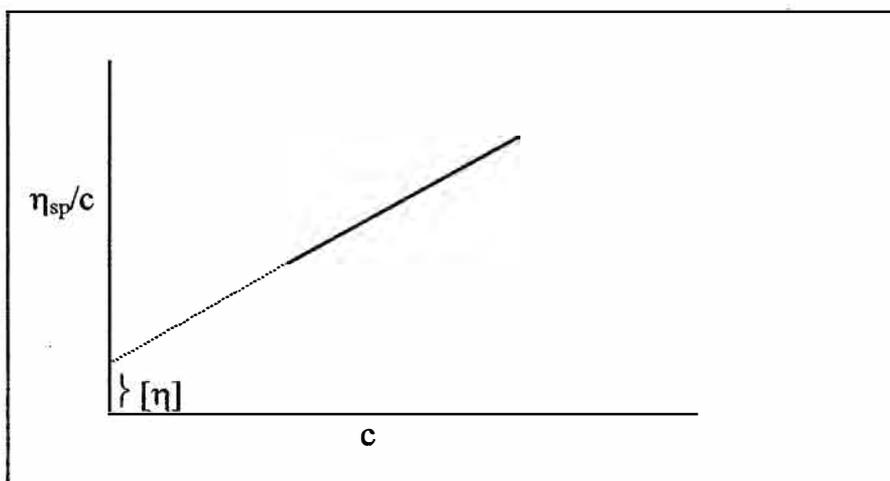
Se extrapola la viscosidad reducida a la concentración cero, en donde desaparecen las interacciones polímero-polímero. La viscosidad intrínseca $[\eta]$ es una medida

de la contribución de las moléculas individuales a la viscosidad de la solución, y se define como

$$[\eta] = \lim_{c \rightarrow 0} \frac{\eta_{sp}}{c} = \lim_{c \rightarrow 0} \left(\frac{\eta_r - 1}{c} \right)$$

El valor de $[\eta]$ se obtiene mediante la extrapolación de $(\eta_r - 1)/c$ a $c=0$, como se muestra en la figura 2.1. Así, la viscosidad intrínseca es la cantidad más importante de viscosidad, puesto que depende solo del tamaño y la forma de la molécula de polímero y no de las interacciones polímero-polímero.

Figura 2.1: Diagrama de η_{sp}/c en función de c



Una relación empírica importante, que tiene una base teórica, es

$$[\eta] = KM^\alpha$$

En donde K y α son constantes que dependen del polímero y del disolvente y M es la masa molecular del polímero. Para moléculas en forma de varillas, el valor de α se acerca a 2. Para espirales al azar, el valor de α se encuentra entre 0,6 y 0,8, y para las esferas apretadas ese valor es 0,5. Observe que estos valores de α afectan a la viscosidad intrínseca en el orden relativo que pudiera esperarse para una molécula que tenga un peso molecular definido, pero con formas moleculares distintas.

La viscosidad intrínseca nos da una idea del tamaño de la cadena polimérica.

Para la resina PET para botellas este valor debe ser aprox. 0,80 dL/g

- Módulos de elasticidad:

El módulo de elasticidad (Módulo de Young), para materiales plásticos, está expresado en Mega Pascal (MPa) y caracteriza la resistencia a la elongación obtenida mediante una prueba de tensión.

Orden de Magnitud:

PET amorfo: 2200 MPa

Pared de botella biorientada, dirección longitudinal = 3000 MPa

Pared de botella biorientada, dirección transversal = 5000 MPa

- Densidad:

El PET en forma de pellet tiene aprox. 50% de cristalinidad, es de color blanco y tiene una densidad igual a 1,400 g/cm³.

El PET en botella tiene aprox. 26% de cristalinidad, es translúcido y tiene una densidad igual a 1,365 g/cm³.

- Transiciones térmicas del PET.-

La resina PET tiene cambios en su estructura a diferentes temperaturas, la cual es controlada durante los procesos de inyección y soplado para obtener una preforma y posteriormente una botella.

- a) Temperatura de transición vítrea.- Es la temperatura en la cual las cadenas comienzan a moverse y esto sucede aproximadamente a los 80°C.
- b) Temperatura de cristalización.- Es la temperatura en la cual la resina PET amorfa desarrolla zonas cristalinas (esferulitas), a una temperatura de 165°C.
- c) Temperatura de Fusión.- Es la temperatura en la cual la resina PET pasa del estado sólido al estado líquido, a una temperatura de 265 °C. Aquí los cristales se destruyen por energía térmica.

La resina PET gracias a su cristalinidad posee determinadas propiedades físicas que la diferencia de otros polímeros.

Estas propiedades físicas son: transparencia, impermeabilidad y estabilidad térmica.

El PET es un material altamente higroscópico, que va absorbiendo agua del medio ambiente durante su almacenamiento. El material debe ser secado antes de su procesamiento en un secador deshumidificador.

Si la resina PET es fundida con altos niveles de humedad (> 50 ppm), sufrirá una rápida degradación- hidrólisis – reduciendo su peso molecular, lo cual es reflejado en la pérdida de Viscosidad Intrínseca, pérdida de transparencia y suavidad.

Una vez que la resina ha sido dañada, la única forma de salvarla es exponerla a una polimerización de estado sólido. Esta operación es muy cara y no siempre resulta exitosa.

2.3 Tipos de reciclaje

Hay cuatro tipos de reciclaje de PET: primario, secundario, terciario y cuaternario. El conocer, cuál de estos tipos se debe usar depende de factores tales como: la limpieza y homogeneidad del material, y el valor del material de desecho y de la aplicación final.

2.3.1 Reciclaje primario

2.3.1.1 Descripción.- Consiste en la conversión del desecho plástico en artículos con propiedades físicas y químicas idénticas a las del material original. Se denomina reciclaje primario a la trituración de los residuos plásticos procedentes del proceso de fabricación de un producto, posterior mezcla con plásticos vírgenes y su utilización a modo de materia prima (reciclaje mecánico). Se trata de un proceso barato y rentable, dado que el residuo es homogéneo y se encuentra poco contaminado.

2.3.1.2 Proceso

- a) Separación: Los métodos de separación pueden ser clasificados en separación macro y micro molecular. La macro separación se hace sobre el producto completo usando el reconocimiento óptico del color o la forma. La micro separación puede hacerse por una propiedad física específica: tamaño, peso, densidad, etc.

- b) Granulado: Por medio de un proceso industrial el PET se muele y convierte en gránulos parecidos a las hojuelas de cereal.
- c) Limpieza: El PET granulado está generalmente contaminado con comida, papel, piedras, polvo, pegamento, de ahí que deba limpiarse primero.
- d) Peletizado: Para esto el PET granulado debe fundirse y pasarse a través de un tubo delgado para tomar la forma de spaguetti al enfriarse en un baño de agua. Una vez frío, es cortado en pellets.

2.3.1.3 Aplicaciones.-

El PET recuperado se destina a la fabricación de productos tales como fibras para: alfombras y rellenos, confecciones y geotextiles.

2.3.2 Reciclaje secundario

2.3.2.1 Descripción.- En el reciclaje secundario el residuo plástico procede de una pieza ya utilizada, con lo cual el material es más heterogéneo y contaminado. Hay que separar, triturar, limpiar y convertir los plásticos en materia prima (reciclaje mecánico). Dada la degradación del plástico, para que la calidad del material reciclado sea aceptable, se han de agregar aditivos especiales.

2.3.2.2 Proceso.- Las diferentes etapas necesarias para el reciclaje de desechos plásticos domésticos se explican a continuación:

a) **Recolección y separación:**

La recolección debería llevarse a cabo a través de un sistema similar al empleado para la recuperación de desechos de papel o de vidrio, es decir, a través de recuperadores callejeros. Los desechos recolectados deben ser clasificados por tipo de resina para posteriormente ser vendidos a las empresas recicladoras. Esta tarea se facilita enormemente con la codificación internacional desarrollada por The Society of the Plastics Industry Inc (SPI). Los envases identifican el tipo de resina en la parte inferior. El símbolo está formado por tres flechas formando un triángulo. En el interior se situará el

número que corresponde a cada tipo de plástico. Así, para el caso del PET el código es 1.



b) Separación final y limpieza:

Se realiza en forma manual. Su objetivo es, por una parte, clasificar el material en forma definitiva y, por otra, eliminar las impurezas gruesas del material, tal como etiquetas, cinta adhesiva, tapas, etc.

c) Molienda:

La molienda se lleva a cabo por trabajo mecánico, aplicando fuerzas de tensión, compresión y corte. Para esto se utilizan molinos, martillos, aglomeradores, etc. para reducirlo a pequeños fragmentos.

d) Lavado y secado:

El proceso de lavado se efectúa en una máquina lavadora y tiene por objeto desprender los restos orgánicos, y otros contaminantes del material plástico molido. Posteriormente se secan en la máquina secadora.

Por efecto de los procesos de limpieza y lavado se produce una pérdida de 30% de material, que corresponde a desechos.

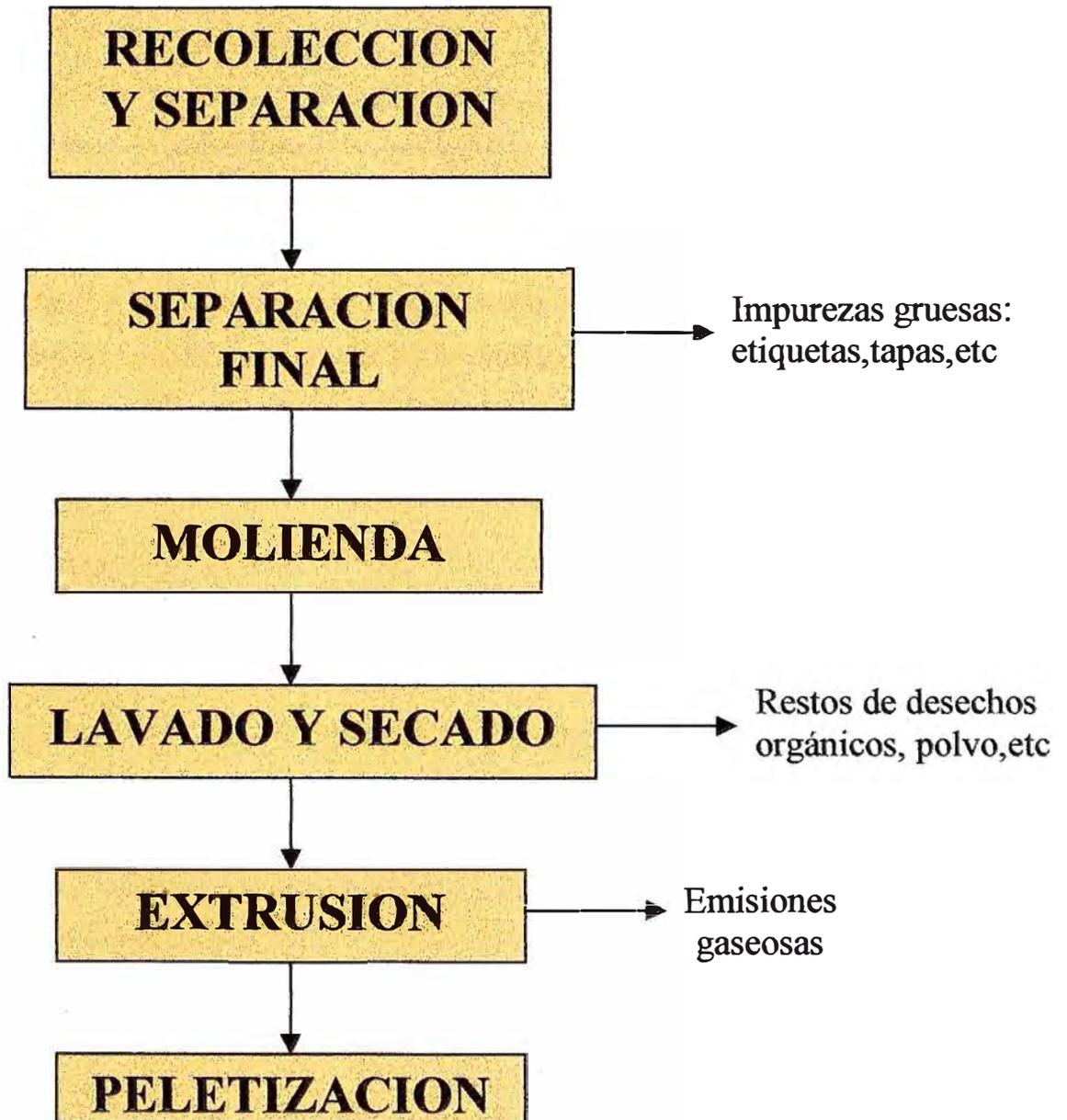
e) Extrusión:

La extrusión permite derretir el material, homogenizar la masa fundida, limpiar el material mediante un filtrado a la salida de la extrusora y añadir los aditivos necesarios para mejorar la propiedad del material reciclado.

f) Pelletización:

El “spaghetti” sólido obtenido en el proceso anterior pasa por un molinillo o pelletizadora, donde es cortado en pequeños pedazos para poner fin al proceso. La eficiencia en el proceso de recuperación es de un 97%, es decir, se produce sólo un 3% de merma, debido principalmente a las pérdidas producidas en el filtro de la extrusora. El reciclaje secundario se esquematiza en la Figura 2.2

Figura 2.2 : Reciclaje secundario



2.3.2.3 Aplicaciones

En Japón, la empresa Seishin Enterprise Company Ltd ha desarrollado un proceso para producir pintura en polvo de alta performance de botellas PET y ha iniciado operaciones en una planta de prueba.

El proceso consiste en cortar las botellas de PET usadas en pellets, transformar los pellets con la adición de resina olefinica, agregar color (pigmento), y luego sigue un proceso en calor para cristalizar el polvo grueso. Este polvo grueso es pulverizado a polvo fino. Este polvo tiene un diámetro de grano entre 150 a 200 micrones.

Pinturas en polvo desarrolladas anteriormente a partir de botellas PET tenían poca adhesión a los sustratos, y los recubrimientos secos eran vulnerables a pelarse y quebrarse. Seishin ha resuelto estos problemas mediante la adición de resina poliéster transformada y otros materiales a los pellets.

2.3.3 Reciclaje terciario

2.3.3.1 Descripción:

El reciclaje terciario es diferente de los dos primeros porque involucra, además de un cambio físico, un cambio químico.

Los procesos de reciclado químico de residuos poliméricos se pueden clasificar en cinco grandes grupos:

Despolimerización química (hidrólisis, alcoholisis, glicólisis, amonólisis, etc).

Gasificación con mezclas aire / vapor de agua.

Hidrogenación a presión

Pirólisis

Craqueo / reformado catalítico.

En el reciclaje terciario o químico (pirólisis, glicólisis, alcoholisis e hidrólisis) las cadenas moleculares se reducen hasta obtener los monómeros iniciales o productos intermedios de bajo peso molecular, que pueden servir de materia prima para la polimerización.

Cuando no es posible el reciclaje mecánico, el químico resulta una buena opción, aunque resulta más costoso.

Una ventaja de los caminos químicos es que, de una manera general, la separación del plástico por tipo de resina no es necesaria, dado que todo el material de alimentación queda reducido a productos petroquímicos básicos.

2.3.3.2 Proceso

Las escamas limpias se someten a una reacción química que las reduce, bien a un monómero o bien a las materias primas iniciales. Luego estos materiales se purifican y mediante otra reacción de polimerización, se convierten en PET nuevo.

Una forma de reciclar PET es usando fluidos supercríticos. Estos fluidos tienen propiedades únicas, diferentes de los líquidos o gases bajo condiciones estándar. Variando la presión y temperatura, los fluidos supercríticos pueden tener la propiedad de penetración de los gases y la cualidad de los líquidos de disolver materiales.

2.3.3.3 Aplicaciones:

- Reciclaje químico de botellas PET para la elaboración de un material de construcción.

Primera etapa: Depolimerización del PET. Se realiza por medio de una reacción de transesterificación o glicólisis llevada a cabo por diferentes glicoles (propilenglicol, etilenglicol, dietilenglicol, etc.) y en presencia de diferentes catalizadores (acetatos de metales entre otros). Esta reacción conduce a la obtención de un nuevo monómero, bis-hidroxi-etil-tereftalato, BHET, con alto rendimiento y pureza.

Segunda etapa: El producto de la depolimerización (BHET) es polimerizado con otros monómeros, anhídrido maleico y ácido sébico, para producir un copolímero el cual presenta dobles enlaces (poliéster insaturado), lo que permite el entrecruzamiento utilizando otros monómeros olefinicos como el estireno. El co-polímero producido junto

con un monómero insaturado, se combinan con materiales de carga (arena, cenizas volantes, piedra grava, etc.). Luego de un proceso de mezclado, se añaden iniciadores de polimerización por radicales libres lo que promueve el entrecruzamiento de las cadenas poliméricas, obteniéndose un material de alta resistencia conocido como concreto polimérico.

Las propiedades del concreto polimérico son superiores a las del concreto hecho con cemento Portland tanto en resistencia como en flexibilidad, además de ser impermeable al agua y solventes orgánicos, y resistente al ataque de ácidos y bases.

El proceso, detallado en el Apéndice C, no requiere de equipos especializados ni de instalaciones costosas.

- El PET obtenido por medio de reciclaje terciario o químico puede ser usado para producir botellas que estarán en contacto con productos alimentarios, como las gaseosas. En algunos países se hacen envases de PET recuperado para alimentos, incorporándolo a la capa central de una estructura de tres capas, o sometándolo a procesos de limpieza especiales.
- La empresa japonesa Kobe Steel Ltd. ha sido la pionera en la aplicación de fluidos supercríticos en el reciclaje de PET. Usan agua supercrítica, relativamente benigna para el medio ambiente. No se usan ácidos o álcalis, de tal manera que no es necesario tratamiento de aguas residuales. Con este proceso se obtiene una recuperación de PET de aprox. 80%.
- Reciclaje químico de Oficine Costarelli.-

Ellos comercializan un proceso químico económicamente muy interesante que permite recuperar los ingredientes básicos del PET, o sea Acido Tereftálico y Etilenglicol, químicamente puros y vendibles al mercado de materias primas.

Ventajas del proceso:

- Competitivo económicamente. Para una planta de producción de 30,000 TM/año, se estima el costo de producción de 500 \$/TM debido a la utilización de aditivos de bajo costo y de bajo consumo de energía.

- No es necesario selección o lavado previo
- No es necesario eliminación de tapas o etiquetas.
- Las botellas con estratificación de capas bloqueantes para oxígeno son tratadas sin problema.
- Alternativamente se puede producir PHT (poli-hidroxiletiltereftalato)

Descripción del proceso:

- a) El material es transportado hacia la máquina de lavado y trituración , que lava y tritura a la vez al tamaño requerido. Las etiquetas son eliminadas en el proceso de lavado.
- b) A continuación el material es secado en la centrífuga dinámica secadora.
- c) Calefacción del material por medio de fricción y adición del aditivo de reacción.- En una extrusora especial y el ingrediente viene adjunto. La cadena molecular del PET se rompe y se produce una materia que se disuelve en agua.
- d) Debido a la diferencia de valencias químicas de la cadena molecular del PET hace falta agregar una cantidad extra de Etilenglicol. El producto resultante se disuelve en agua destilada.
- e) Separación de los plásticos no reaccionados.- El material plástico que no ha reaccionado es separado de la solución fluida y puede ser tratado en un proceso diferente.
- f) Reacción de separación de Acido tereftálico.- El aditivo de reacción causa la separación química de Acido Tereftálico del Etilenglicol. El ácido Tereftálico se une con el aditivo de reacción.
- g) Filtrado y lavado de las sustancias ácidas.- En una centrífuga con filtros especiales
- h) Secado y almacenaje del ácido tereftálico.- En un horno microondas. Luego se almacena en silos para la venta.

- i) Recuperación de Etilenglicol y almacenaje.- La solución de etilenglicol en agua es destilada y luego el etilenglicol recuperado es almacenado para la venta.
- j) De este modo los dos ingredientes básicos del PET: ácido tereftálico (70-73%) y etilenglicol (27-30%) son recuperados en condiciones químicas puras.

2.3.4 Reciclaje cuaternario

El PET tiene un poder calorífico semejante al de algunos carbonos, 23 MJ/kg, lo que hace interesante su utilización como combustible para producir energía en diversas formas: electricidad, vapor, calefacción, etc. El PET está compuesto por oxígeno, carbono e hidrógeno, que mediante combustión se transforman en dióxido de carbono y agua, por lo que no producen ningún tipo de emisiones tóxicas.

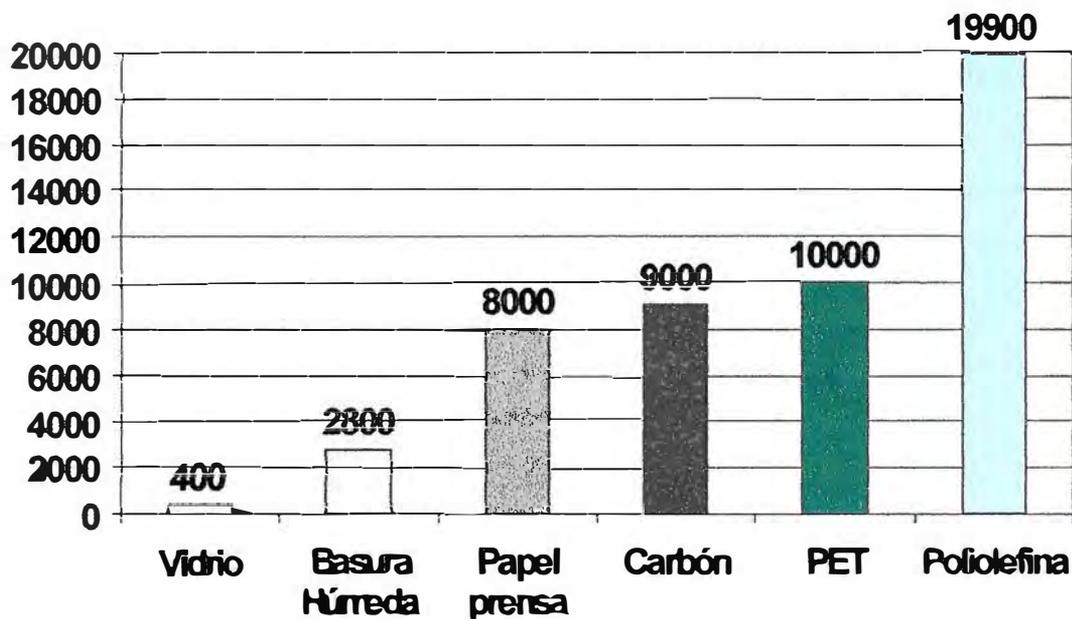
El reciclaje cuaternario, consiste en el calentamiento del PET con el objeto de usar la energía térmica combustible para reciclar energía.

En el reciclaje cuaternario o recuperación de la energía, el residuo plástico se emplea como combustible. Dado que los plásticos son materiales provenientes del petróleo, su valor energético es similar al de este último.

La recuperación de la energía de los plásticos reduce la cantidad de material depositado en los vertederos y contribuye a la conservación de los combustibles clásicos.

En muchos municipios en Estados Unidos envían la basura a una incineradora moderna que la convierte en energía, reduciendo la cantidad de desechos que se depositan en vertederos hasta en un 90%. Como se ve en la figura 2.3, los plásticos tienen un valor energético inherente mayor que el de todos los materiales que se encuentran en el volumen de basura.

Figura 2.3: Valor como combustible para incineración



CAPÍTULO III: SELECCIÓN DE MÉTODO DE RECICLAJE

En el mundo actual del reciclaje del PET existe un sistema para ser utilizado en el ramo alimenticio. La tecnología pertenece a la empresa Erema GMBH.

Las hojuelas de PET de botellas se convierten en gránulos limpios de PET, los cuales cumplen con los requisitos dictados por las normas 21 CFR 177.1630 y/o 21 CFR 177.1315 de la US FDA (Food & Drug Administration) .

Una de las ventajas que ofrece este sistema es el poder determinar y aumentar el valor IV (viscosidad intrínseca), evitando utilizar medios auxiliares externos tales como la cristalización, la condensación de estado sólido y los aditivos químicos.

El granulado obtenido con este sistema puede ser utilizado al 100% en la fabricación de botellas PET destinados a la industria alimentaria.

Existen dos posibilidades para el procesamiento del PET:

- a) Sistema completo de reciclado (incluyendo instalaciones de lavado): de las botellas post-consumidor a los gránulos PET
- b) Sistema para procesar hojuelas pre-lavadas de botellas de PET, convirtiéndolas en pellets/gránulos de PET para ser utilizados en botellas de gaseosas.

Descripción

La técnica consiste en un proceso eficiente, compacto y económico (bajos costos de energía). El sistema se distingue principalmente por los bajos costos de inversión. El sistema de reciclaje Erema se puede observar en la figura 3.1

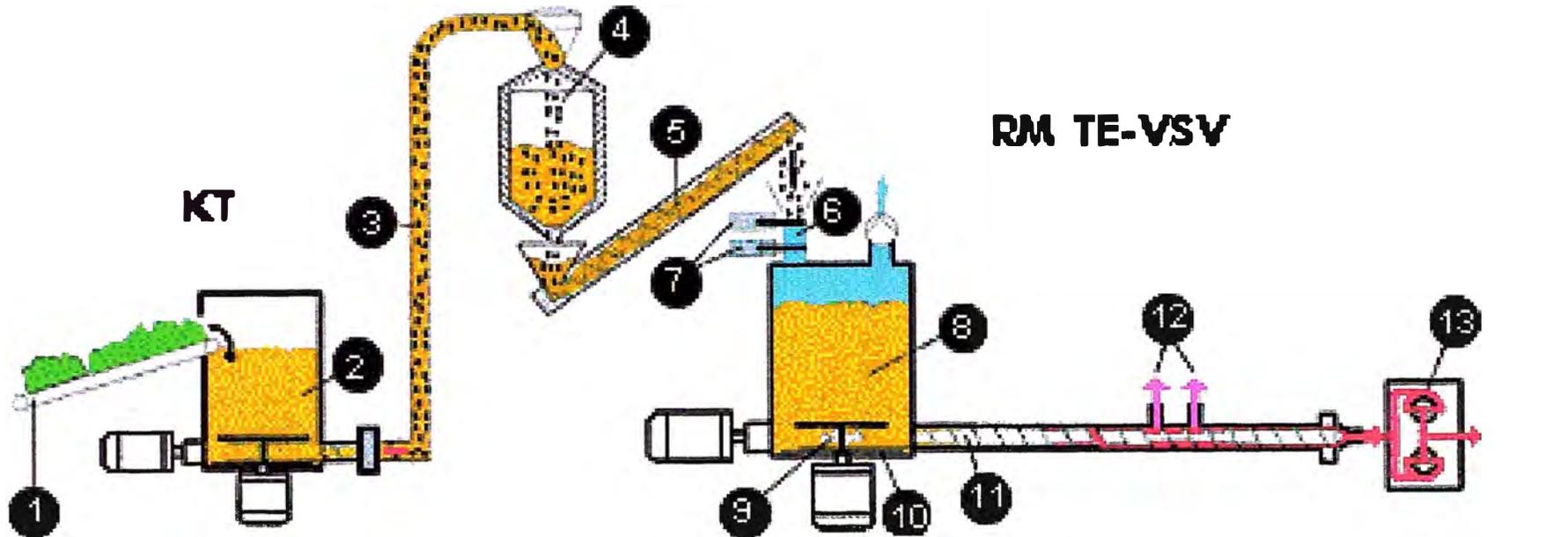
El cristizador se alimenta con hojuelas de botella (previamente lavadas) por medio de una banda transportadora o un husillo transportador.

Dentro del cristizador-secador y en forma continua, el material es precalentado, secado y cristalizado en un solo paso.

Del cristizador-secador, el material es transportado al depósito intermedio debidamente aislado para mantener el calor.

El material pasa a través de la bomba de vacío y llega a la trituradora/secadora.

Figura 3.1 : Sistema de Reciclaje Erema



1. Banda Transportadora.
2. Cristalizador-Secador KT.
3. Transporte del material.
4. Depósito intermedio.

5. Husillo Transportador.
6. Entrada a la Bomba de Vacío.
7. Compuerta de la Bomba de Vacío.
8. Trituradora / Secadora.

9. Entrada a la extrusora.
10. Agitador.
11. Extrusora Mono-husillo.
12. Sistema de desgasificación.
13. Cambiador de filtros

- Dentro de la trituradora/secadora, el material se procesa al alto vacío . Las altas temperaturas y el tiempo que permanece el material en este paso del proceso, minimizan la humedad, elevan el nivel de viscosidad y liberan el material de sus contaminantes. El grado de contaminación en el material, se mide y se controla por medio de los instrumentos de análisis colocados dentro de la trituradora/secadora.
- La extrusora mono-husillo recibe el material continuamente. Dentro de la extrusora el material se plastifica, homogeniza y desgasifica, para después pasar al cambiador de filtros automático. La medición o el control del valor intrínseco, puede ser aplicado opcionalmente al proceso de extrusión.

Este proceso “in-line” de cristalizador-pelletizador ofrece la ventaja de la producción de gránulos cristalizados a bajos costos (ahorro de energía y facilidad de manejo)

El resultado: Gránulos cristalizados con un valor IV alto (hasta 0,81 dL/g), los cuales pueden ser utilizados en la fabricación de botellas PET (preformas)

Los costos de producción están entre 0,21 a 0,32 \$/kg, inferior al costo de la resina PET virgen.

CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 1) Las técnicas para la recuperación de botellas PET son diversas, aunque muchas de ellas están todavía en una fase inicial.
- 2) Tenemos los reciclajes primarios y secundarios para obtener PET reciclado, mientras que en el reciclaje terciario o químico se producen monómeros que luego de una nueva polimerización dan como resultado un nuevo polímero.
- 3) En el reciclaje cuaternario aprovechamos las botellas de PET usadas como combustible.
- 4) La opción para utilizar uno u otro mecanismo tiene más que ver con la economía que con la técnica.
- 5) El reciclaje mecánico tiene un precio de 0,21 – 0,26 \$/kg, mientras que el energético está entre 0,16 – 0,19 \$/kg. El que tiene más difícil salida desde el punto de vista económico, por el momento, es el reciclaje terciario o químico, que puede alcanzar: 1,06 \$/kg.
- 6) Se debe desarrollar una cultura ecológica entre la sociedad, ya que el cuidado del medio ambiente es de responsabilidad compartida: sector industrial, social y gubernamental..
- 7) Es necesario la elaboración de una guía teórica-práctica que explique detalladamente el manejo integral de los residuos.
- 8) Para alcanzar buenos resultados en la recolección de botellas PET para ser recicladas se debe tener en cuenta tres factores:
 - Programas educativos de largo plazo que formen parte de la enseñanza formal. Es importante que desde la niñez se entienda porqué hay que cuidar el medio ambiente.
 - Precio de depósito o valor de retorno que se le asigne al envase descartable cuando se reintegra a un lugar de recolección.
 - Existencia de una ley de envases que estimule el reciclaje mediante diversos mecanismos.

9) Al igual que con un producto de consumo masivo se necesitará de una campaña publicitaria permanente en los medios masivos de comunicación, destinada a sensibilizar y educar a la población en general.

10) En nuestro país, deberíamos comenzar por estudiar las experiencias en otras partes del mundo, formulando una ley de envases que se ajuste a la realidad de nuestra comunidad, nuestra población, nuestras organizaciones ciudadanas y nuestras empresas.

CAPÍTULO V: BIBLIOGRAFIA

- Lund, H.F. “Manual de Reciclaje”, Madrid, Mc Graw Hill, 1996
- Sonnesa, H, Ander P. – Principios de Química
- <http://www.pharmaportal.com.ar/areapac03.htm>
- <http://www.topwaveinc.com/CO2%20services.html>
- <http://www.colombiapack.com/ColombiaPack/botellaspets.htm>
- <http://www.phrep.com/internas/catalogo/plasticos1.htm>
- <http://www.krones.es/productos8.html>
- http://www.eastman.com/Online_Publications/MBC-S104c.pdf
- http://www.ereama.at/s_pet_funktion.htm
- <http://ecoweb-la.com/notas/re6/566.htm>
- <http://www.alquimicos.com/quimprin/38/pet.html>
- <http://www.itzkan.com.mx/HILTX.HTM>
- <http://www.ecomaquinas.com/pet.htm>

- http://www.plasticsresource.com/recycling/community_recycling_materials/recyclingkit_sp/primer_sp.html
- <http://www.cepis.org.pe/eswww/fulltext/repind59/ete/ete.html>
- <http://www.cai.org.ar/medioambiente/plantatsurauch.htm>
- <http://www.enlaces.edu.py/cndelm/html/contamin.htm>
- http://intec.cl/documentos_linea/est_cicl_vida_12.pdf
- <http://www.container-recycling.org/cokeques.html>
- <http://plasticsrecycling.org/pet.htm>
- <http://www.apec-vc.or.jp/ewldweb/eentrprs/pet.htm>

- <http://www.hiindia.com/alpha/docs/compare.htm>
- <http://www.dasesing.com/english/e-pet.htm>
- <http://www.alcoa.com.br/produtos.htm>
- <http://www.abepet.com.br/abepet.htm>
- http://www.dcrperu.com/informes/09-2000/pdf/E_Elsa.PDF
- <http://www.infonegocio.com.pe/areas/marketing/especiales/20112000mb.shtml>

<http://www.tecnipublicaciones.com/logistica/actualidad/equipamiento/equipamiento43.asp?opcion=informe>

- <http://www.taller.org.ar/ciudades/envases.htm>
- <http://www.openmedioambiente.com/textos/boletin01n.html>
- <http://www.gencat.es/mediamb/cast/residus/eminimit.htm>
- http://www.arpet.org/archivos/boletines/22_99.htm
- <http://habitat.aq.upm.es/bpal/onu98/bp601.html>
- Ley 27314 (Ley gal. De residuos sólidos)
http://www.editoraperu.com.pe/normas_1/normas.html
- <http://www.kampwerth.de/spanish/products.html>
- <http://www.barrabes.com/Documentos/tecnicos/esp/polartecesp.htm>
- <http://www.pucp.edu.pe/invest/grupos/polycom/proy-reciclaje.htm>
- <http://www.ci.omaha.ne.us/recycles/swlmar96.pdf>
- <http://www.hajek.cl/bbs/messages/23.html>
- Reciclaje químico
http://www.navarini.com/pet_recycling_sp.htm
- <http://www.mdns.com.ar/encuentros/data/021900Recicperu.htm>
- <http://www.cepis.ops-oms.org/eswww/fulltext/gtz/linegene/linpract.html>
- <http://www.reciclar.com.mx/articulos/2/3.html>

- <http://environment.about.com/library/weekly/aa081599.htm>

- <http://environment.about.com/library/weekly/blplastic1.htm>

- PET enjoys explosive demand, rising prices

<http://63.66.209.159/cgi-bin/view?UserTicket=Open&file=MP-077-02-0022>

- [http://206.0.199.21:8080/Phantom.acgi\\$search](http://206.0.199.21:8080/Phantom.acgi$search)

[]

[8%] **The long term bodes well for Peru** 4.3K

The long term bodes well for Peru Publication MP Date November, 1999

Copyright Copyright 1999 Chemical Week Publishing, LLC. Volume 76 Issue 11

Page 24A Section INTERNATIONAL REGIONAL CLOSE-UP SOUTH

AMERICA The long term bodes well for Peru While...

<http://63.66.209.159/cgi-bin/view?UserTicket=Open&file=MP-076-11-0093> | [Find similar pages](#)

- askache.com - Equipos

<http://www.askache.com/AskaChEn.htm>

- Envases - Impactos ambientales

Lic. Witold KOPYTYNSKI 01/01/2000

[Web](#)

- <http://ecoweb-la.com/notas/re6/581.htm>

- Decreto 613/1990

Código del Ambiente y los Recursos Naturales

<http://ecoweb-la.com/legislacion/pe/dec/613-1990.htm>

- http://www.navarini.com/extruder_sp.htm

- reciclaje primario, secundario, terciario...

<http://suse00.su.ehu.es/euskonews/0063zbk/gaia6305es.html>

- http://www.buhlergroup.com/tp/en/reycl_bot.asp

- <http://www.forum-pet.de/>

- http://www.asomatic.ch/pet-recycling_machines.htm

- http://www.navarini.com/pet_recycling_konventionell_e.htm

- <http://www.plastics.org.nz/environment/recycle.htm>

- <http://www.abfall.ch/THEMEN/Publikationen/vsrofibel/pet-de.htm>
- <http://www.schoellerinternational.com/PET-Recycling/PET-Recycling2/pet-recycling2.html>
- <http://www.plastico.com/119/analisis.htm>
- <http://www.cheresources.com/polyrecyclezz.shtml>
- [http://www.plasticsresource.com/disposal/life cycle feature/step7.html](http://www.plasticsresource.com/disposal/life_cycle_feature/step7.html)
- http://www.basf.com/static/OpenMarket/Xcelerate/Preview_cid-991655157321_pubid-991224177622_c-Article.html
- <http://www.recoup.org>

APÉNDICES

APÉNDICE A

RECICLADO QUÍMICO DE PLÁSTICOS



Reciclado químico de plásticos

Entre las diferentes estrategias para el reciclado de los materiales plásticos, el tratamiento químico de los desechos va ganando en importancia, día a día. En este artículo se analiza de una forma global el problema ecológico planteado por los residuos plásticos y las vías para solucionarlo, prestando especial atención a los procesos químicos de reciclado existentes y su estado de desarrollo, fundamentalmente en Europa.

LUIS VARGAS FERNANDEZ

Jefe Dpto. Poliolefinas.

Repsol I+D

Ingeniería química - Noviembre 1994

- [Introducción](#)
- [Origen y composición de los residuos plásticos](#)
- [Balance ecológico análisis del ciclo de vida](#)
- [Factores que afectan al reciclado de los plásticos](#)
- [Reciclado químico](#)
- [Conclusiones](#)
- [Bibliografía](#)

Introducción

La acumulación de residuos sólidos es un problema que tiene planteado la sociedad, y fundamentalmente los países desarrollados, creciente en importancia en razón a la disminución de espacios libres para vertederos y fuertes presiones ecológicas. Dentro de estos desechos los plásticos tienen una importancia relevante como consecuencia de su baja densidad que los hace especialmente visibles.

Las posibles vías de reutilización de los plásticos son varias y de muy diferente naturaleza, abarcan desde su incineración, con posible recuperación energética, hasta su transformación en productos más nobles el denominado reciclado químico, tales como gas de síntesis fracciones petrolíferas o incluso, los propios monómeros de partida. La selección del procedimiento más adecuado para el reciclado de un determinado material no es fácil ni generalista, se deben contemplar aspectos tan diferentes como su composición, legislación medioambiental, subvenciones o ayudas de las autoridades gubernamentales o locales, proximidad de refinerías, densidad de población, precio de materias, vírgenes, etc.

Origen y composición de los residuos plásticos

En la [figura 1](#) se recogen algunas macrocifras que dan idea de lo que los plásticos y sus residuos representan [1]. En cuanto al consumo de recursos petrolíferos mundiales se refiere, los

plásticos contribuyen solamente en un 4%, y son las poliolefinas los productos mayoritarios con una incidencia de 41%. Por sectores de utilización es el de embalaje el que mayor repercusión representa con porcentajes de consumo del 38%.

En 1989, y no hay razones que induzcan a pensar en modificaciones importantes en estas cifras, casi el 73% de los residuos plásticos en Europa acababan en los basureros municipales [2]. Tal como se refleja en la [Tabla I](#), en España esta cifra es ligeramente superior (77%), al representar en ese año un total de 784.000 t. La composición de estos residuos se recogen en la [Tabla II](#). Tanto en los residuos totales como en los de procedencia urbana, las poliolefinas son también el componente mayoritario. Le siguen en importancia el policloruro de vinilo y el poliestireno, en orden diferente según su origen, y el poliestileno refaltato [3].

Dentro de los residuos urbanos los plásticos representan tan sólo el 7% en peso, frente al 25% del papel y cartón, por ejemplo. Pero su baja densidad incide en que estos porcentajes, cuando se habla en términos volumétricos, se disparan hasta valores del 23%.

Balance ecológico análisis del ciclo de vida

Estos dos conceptos, estrechamente unidos e introducidos recientemente permiten afrontar de una forma más lógica y racional el problema planteado por los desechos de la sociedad de consumo y, es particular, por los plásticos. El impacto medioambiental de un determinado bien debe plantearse desde una perspectiva global, desde que nace el plástico hasta que muere, teniendo en cuenta su contribución ecológica (ecobalance) durante el transcurso de toda su vida. Así en la [figura 2](#) se han representado de una forma esquemática las diferentes etapas que integran el ciclo de vida para los plásticos, incluyendo las posibles vías de reciclado sobre las que se incidirá con mayor detalle más adelante.

Los métodos utilizados para realizar estas auditorías medioambientales están bien contrastados y establecidos. La primera fase es el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) de un producto consiste en definir su sistema de producción, considerando todas las operaciones que lo integran encerradas en una caja hermética que marca sus límites y los separa del medio ambiente que actúa como suministrador de todas las entradas y receptor de todas las salidas del sistema. En la siguiente fase se cuantifican los flujos de materia y energía a lo largo de sus límites.

El ACV no es un fin en sí mismo sino un procedimiento que genera una serie de información (consumos de materias primas, agua, energía, emisión de agentes contaminantes, etc.) que se pueden utilizar con diferentes objetivos tales como la selección de materias primas o procesos de fabricación óptimos para un determinado producto o para la selección, entre las diferentes opciones del sistema de manejo o reciclado para los residuos generados.

Esta forma global de analizar el problema, frente a la anterior idea de prestar atención simplemente al destino de los materiales de deshecho, muestra en muchos casos que los plásticos son más favorables que otros materiales (acero, vidrio, papel) utilizados para los mismos fines. Así, por ejemplo [4], en la Universidad Victoria (Canadá) decidieron hacer un ACV con el objetivo de demostrar la necesidad, en principio obvia desde un punto de vista ecológico de cambiar los vasos de poliestireno por otros de papel. El informe final para sorpresa de los propios investigadores, mostraba que en la fabricación de los vasos de papel se consumía más del doble de su propio peso en madera aproximadamente el 40% de la cantidad de petróleo utilizado en la manufactura de los vasos de poliestireno, 15 veces más de agua de refrigeración y unas 170 veces más de agua de proceso.

Por el momento, la principal dificultad para realizar este tipo de análisis reside en la escasez de

información. Para soslayar este inconveniente la Asociación de Fabricantes de Plásticos en Europa (APME), auténtico embrión y motor de la idea de los ACV, tiene prevista la publicación de una serie de datos relativos al ecobalance de los principales termoplásticos. El objetivo es tabular los consumos energéticos y de materia prima, así como los residuos generados en la fabricación de 1 kg de polímero granulado.

Factores que afectan al reciclado de los plásticos

La vida de un plástico no es infinita. Por mucho que se alargue su existencia mediante el reciclado su destino final es la incineración o el vertedero. En algunos casos, únicamente el reciclado químico permite una "pseudoinmortalidad", especialmente en aquellos en los que es aplicable la depolimerización con generación de los monómeros de partida.

El tipo de tratamiento que se da a los residuos plásticos viene determinado por una serie de factores de muy distinta naturaleza, en pocos casos tecnológicos, y entre los que habría que destacar la disponibilidad de terreno aptos para su uso como vertederos controlados, legislación medioambientales apoyos y subvenciones de autoridades gubernamentales, regionales y locales, etc. Así, mientras en Estados Unidos y Europa la mayor parte de los residuos municipales son enterrados, en Japón, donde cada metro cuadrado de terreno es oro puro, se favorece su incineración. Estas tendencias, al menos en Europa, se invertirán en un futuro (*Tabla III*). El reciclado químico, hoy prácticamente inexistente, se desarrollará en los próximos años de una forma importante y alcanzará, para el año 2000, valores cercanos al 20% del total. Las unidades de incineración de residuos con generación de calor o electricidad son un valioso medio de explorar el alto contenido energético de los plásticos, con poder calorífico intermedio entre el petróleo y el carbón.

Las presiones sociales, a través de las reglamentaciones políticas en materia de medio ambiente, son un factor decisivo en el futuro del reciclado de los plásticos. Alemania y Francia marcan la pauta en Europa. En Alemania, el DSD (Duales System Deutschland), compañía comercial puesta en servicio en 1991, gestiona la recogida y selección de los residuos plásticos de embalaje, y está legislado que para 1995 el 64% de los plásticos utilizados en este sector han de reciclados. En Francia, en sus programas Eco-Emballages y Valorplast la eliminación de los residuos se contempla como una responsabilidad exclusiva de las autoridades locales que podrán establecer recogidas selectivas para los productos del sector del embalaje.

En el sector del automóvil también es Alemania, dentro de los países europeos, y desde el punto de vista de la normativa legal, la que marca las diferencias. En su Directiva se contempla que, para 1996, los nuevos modelos de automóviles habrán de utilizar en su fabricación un 20% de plásticos reciclados. Para el año 2000 este porcentaje será del 50%. Además, establece una serie de normas básicas tales como:

- Los fabricantes y vendedores, o sus representantes, están obligados a hacerse cargo de los vehículos al final de su vida útil, sin coste.
- Los materiales procedentes de vehículos usados han de reciclarse tan rápidamente como sea posible.
- La industria y los comerciantes han de adquirir los medios necesarios para dismantelar los vehículos viejos y dar salida a los residuos no reutilizables.
- Los nuevos productos han de diseñarse con vistas a su reciclado.

De especial importancia en la economía del reciclado de plásticos, son los problemas logísticos relacionados con la recogida y transporte de los residuos. La facilidad para su separación será función directa la complejidad en la composición de los mismos. Esta es una de las razones para

que, continuado en el sector del automóvil, se tienda a utilizar cada vez menos variedad de componentes plásticos, aunque en mayor cantidad, en la fabricación de los vehículos. Así, el polipropileno, con precios más competitivos y amplia gama de variedades de suministro (homo, copo y terpolímero, compuestos. etc.) está desplazando en algunas aplicaciones al poliuretano, ABS o PVC.

Así las cosas, no es de extrañar que; salvo excepciones, las compañías no aborden el reciclado de forma individual e independiente, sino a través de proyectos comunes y dentro de organizaciones a nivel nacional, o incluso, europeas, tal como se refleja en la [Tabla IV](#).

Reciclado químico

Entre las diferentes opciones para el reciclado de los residuos plásticos, el químico gana terreno día a día. Tal como se ha mostrado en la [figura 2](#), estos tratamientos conducen a productos tales como monómeros de partida, gas de síntesis y corrientes hidrocarbonadas, mediante la aplicación de procesos de depolimerización, gasificación y otros tradicionales del refino, tanto térmicos como catalíticos.

1. Depolimerización

La reconversión directa a los monómeros de partida de un polímero, que pueden así ser de nuevo polimerizados regenerando el polímero virgen es aplicable a macromoléculas de policondensación, con el polietilentereftalato (PET) y poliamidas (nylons) y a algunos polímeros de adición como es el caso de los poliuretanos. El éxito de este tipo de tratamientos depende, en gran medida de la disponibilidad de una materia prima bien definida a través de un buen sistema de recogida y limpieza y de los costes de reprocesado del polímero.

La depolimerización térmica del polimetilmetacrilato, con rendimientos de hasta el 97%, está siendo utilizada ampliamente por la mayor parte de los fabricantes europeos, como Parachemie y AtoHaas en Alemania y Francia, respectivamente. Du Pont también utiliza comercialmente la depolimerización térmica del poliacetal para generar formaldehído.

La depolimerización química se efectúa, fundamentalmente, a través de reacciones de hidrólisis, alcoholólisis o glicólisis. Así, en el caso del poliuretano se usan industrialmente la alcoholólisis y la glicólisis, aunque en dura competencia con el reciclado directo del material. Aunque la hidrólisis del polietilentereftalato puede emplearse como vía química de reciclado, generando los ácidos carboxílicos y los alcoholes, los fabricantes de bebidas utilizan en la producción de nuevas botellas la depolimerización química basada en la metanólisis del IOET que los regenera tras la correspondiente separación y purificación, sus componentes base tereftalato de metilo y etilenglicol.

Recientemente [5] el IFT en colaboración con Technochim Engineering, ha anunciado el desarrollo de un nuevo proceso para el reciclado de botellas, filmes y películas de PET mediante la saponificación del polímero y posterior hidrólisis de la sal obtenida. Para 1995 está prevista la entrada en servicio en Francia de una unidad de 30.000 t/año.

2. Gasificación

En la gasificación tiene lugar la oxidación parcial de los hidrocarburos que produce gas de síntesis (mezcla de monóxido de carbono e hidrógeno) que puede utilizarse como combustible para la generación de electricidad, materia prima para la fabricación de

metano, amoníac de alcoholes OXO o, incluso, como agente reductor para la producción de acero en altos hornos, Presenta la ventaja, frente a otros procedimientos de reciclado químico, de poder admitir como alimentación toda la corriente de residuos municipales, sin necesidad de separar previamente los plásticos.

Son muchas las compañías que están investigando esta opción de reciclado, entre ellas Shell Oil, C. [7]. ,pero es Thermoselec, S.A. (Locarno. Suiza) quien lidera esta tecnología En su planta piloto instalada en Verbania (Italia) se tratan 4,2 t/hr de residuos sólidos municipales, que proucen (50kg de gas de síntesis, 220 kg de escoria, 23kg de metales y 18 kg de sales por cadat. residuo tratado. En el proceso. los residuos, previamente compactados y desgasificados, se pirolizan a 600 C y alimentan al gasificador a 2.000 C. El gas de síntesis obtenido, una vez limpio. se quema en una turbina de gas para producir 300 kw de electricidad. Está prevista la puesta en marcha, en Alemania, de una planta de 20 t/hr.

3. Reciclado con generación de fracciones hidrocarbondas

Las tecnologías empleadas en la industria del refino para transformar fracciones petrolíferas de alto peso molecular en otras más ligeras son una alternativa válida para el reciclado de los materiales plásticos, sobre todo si éstos coalimentan a las unidades de refinería junto con sus cargas tradicionales.

Una de las posibles clasificaciones de la gran variedad de procesos utilizables atiende al uso, o no. de agentes catalíticos. Los procesos meramente térmicos, que no emplean catalizador, tales como el cracking térmico, la pirólisis y la termólisis, se llevan a cabo, con o sin adición de oxígeno, a temperaturas de operación entre 400-800 C bajo presión reducida o en atmósfera inerte generalmente en un lecho fluidizado de arena. Los hidrocarburos producidos pueden ser tratados en refinería o utilizados como combustibles.

Entre las actividades llevadas a cabo en esta área destacan las de consorcio que liderado por BP integra a Petrofina, DSM, Enichen y Elf-Atochem, con el objetivo de a escalar la tecnología desarrollado inicialmente por la empresa británica [9]. El proceso opera a 600 C y produce un gas que contiene aproximadamente un 60% de una mezcla de componentes C₂C₃ C₄ y nafta. El cloro es absorbido por un lecho de óxido cálcico, manteniendo su nivel de concentración en el gas craqueado en menos ppm. El consorcio está financiando una planta piloto de 100 t/año que entrará en servicio en este año, si el escalado es adecuado, BP ha anunciado la posible construcción de una unidad de 25.000 t/año con una inversión cite 30-50 MM\$. Los costes de fabricación se estima en unos 300 \$/t, aunque en unidades de mayor capacidad disminuirían sensiblemente.

Basf, que ha puesto en servicio una planta piloto de 15,000 t/año para la transformación de mezclas con de residuos plásticos en fracciones líquidas por pirólisis a baja presión, ha anunciado recientemente [10] su decisión de construir una unidad industrial con una inversión de 175 MM\$. Exxon, por su parte y en plan experimental, añade ya un 5% de residuos poliolefinicos en su unidad de delayed cooker en karlsruhe, lo que equivale a un reciclado anual de 50.000 t/año de poliolefinas [5].

Para el aprovechamiento de los residuos plásticos también se pueden utilizar procesos catalíticos de refino tales como el cracking hidrocracking o la hidrogenación. Los tratamientos en presencia de hidrógeno son, por el momento los que parecen más desarrollos Veba Oel modificó en 1992 una unidad de tratamiento de residuos de crudo en Bottrop (Alemania) para coalimentar con plásticos molidos. Tras una serie de ensayos con buenos resultados, está previsto reciclar hasta 40.000 t/año de residuos

plásticos con contenidos PVC de hasta un 10% [8]. La unidad opera a 150-300 kg/cm² y 470 C, en atmósfera de hidrógeno, y produce un syncrude que contiene un 60% de parafinas, 30% de nafta 9% de aromáticos y un 1% de olefinas. La conversión es del 80% con una eficiente energética del 88% via neutralización del HCl generado, este crudo sintético se utiliza para alimentar una refinería y complejo petroquímicos cercanos.

También en Alemania en concreto en Zeitz, un consorcio liderado por RWE AG y Thissen AG tienen en proyecto una planta de hidrogenación que podría tratar alimentaciones formadas en su integridad por residuos plásticos, con una capacidad nominal de 200.00 t/año.

En los procesos de craking o hidrocraking catalítico, la transformación de los residuos tienen lugar en presencia de zeolitas, aluminosilicatos o catalizadores superácidos, originando como productos fracciones de hidrocarburos de diferente composición y uso: C4-C7 para gasolina C8-C16 para lubricantes sintéticos u oligómeros que se que se pueden emplear como depresores del punto de congelación o mejoradores del índice de viscosidad de aceites lubricantes, Así el proceso Kurata, por ejemplo, desarrollado a escala piloto y basado en el craking catalítico en presencia de un catalizador polimetálico, permite tratar mezclas de polímeros con contenidos en PVC de hasta un 20%, originado como producto principal un aceite hidrocarbonado con menos de 100 ppm de cloro La reacción tiene lugar a baja temperatura (200 - 250 C), presión atmosférica y en ausencia de oxígeno para evitar la formación de dioxinas [5].

Conclusiones

Dentro de las estrategias. para el reciclado de los materiales plásticos, incluidos los contenidos en los residuos municipales, el reciclado químico gana terreno frente a otras alternativas. Para el año 2000 representará el 20% del tratamiento global para los residuos plásticos en Europa utilizando diferentes tipos de procesos que abarcarán desde los utilizados convencionalmente en refineries para la degradación de fracciones pesadas de petróleo hasta aquellas que, partiendo de alimentaciones más puras, permiten la generación de los monómeros de partida. Aunque la viabilidad técnica de las diferentes alternativas está en la mayoría de los casos demostrada, la solución idónea deberá contemplar factores económicos de muy diferente naturaleza: origen y composición de los residuos, legislación medioambiental, proximidad a complejos y petroquímicos, etc-

Bibliografía

1. Savostianoff, D. Caoutchoues & Plastiques, N 722, abril, pág. 45-49 (1993).
2. Europeam Chemical News, 15, junio, pág. 31 (1991)
3. Chemical Week 18/25, dic. pág. 28-43 (1991).
4. Beevers, A. Europeam Plastics News, abril, pág. 18-19 (1993)
5. Dawans, F. Informations Chimie, marzo, pág. 85-89 (1994).
6. Eller, R. AUTOPLAS '92 Conference, Düsseldorf, 27, oct. pág. 381-408 (1992).
7. Reinink, A. Plastics, Rubber and Composites Processing and Applications, 20(5). pág. 259-263 (1993).
8. Fouhy, K. y col., Chemical Engineering. diciembre, pag. 30-33 (1993).
9. Rotman, D. y Chynoweth E. Chemical Week, marzo 2. pág. 20-22 (1994).
10. C&EN. marzo 28 pág. 19 (1994).

Actualizado: 03/19/2002 10:37:54
Comentarios al Webmaster
[Homepage CEPIS]



Tabla I. Residuos y su origen en Europa (1989) (Miles de t)

País	Residuos totales	Agricultura	Automóvil	Construcc./ Aliment/otros	Indust./ distrib.	Municipales
Belgica/Lux.	316	23	20	34	34	205
Dinamarca	117	10	9	13	17	68
Irlanda	79	3	4	4	5	63
Francia	1,800	72	115	58	195	1,360
Alemania	2,636	162	132	202	385	1,755
Grecia	207	6	6	6	14	175
Italia	1,601	96	101	52	197	1,155
Holanda	529	22	31	35	51	390
Portugal	206	4	6	7	14	175
España	1,011	49	46	23	109	784
G. Bretaña	1,830	28	93	110	199	1,400
<hr/>						
Austria	197	16	13	15	27	126
Finlandia	179	2	7	13	17	140
Noruega	177	14	7	8	15	133
Suecia	282	10	17	21	29	205
Suiza	266	15	13	15	23	200
Total Europa	11,433	532	620	616	1,331	8,334

Fuente: Sema/APME. Ref. (2)

Actualizado: 03/19/2002 10:39:34

Comentarios al [Webmaster](#)

[[Homepage CEPIS](#)]



Tabla II. Composición de los residuos plasticos en Europa (1989) (Miles de t)

Plástico	Residuos totales	(%)	Municipales	(%)
Poliiolefinas	5,937	(51,9)	5,417	(65,0)
PVC	2,397	(21,0)	833	(10,0)
PS y EPS	1,697	(14,9)	1,250	(15,0)
PET	288	(2,5)	417	(5,0)
Otros	1,114	(9,7)	417	(5,0)
Total	11,433	(100,0)	8,334	(100,0)

Fuente: APM. Ref. (3)

Actualizado: 03/19/2002 10:40:24

Comentarios al *Webmaster*

[[Homepage CEPIS](#)]



Tabla III. Tratamiento de residuos plasticos en Europa

Destino	1992	2000
Vertedero	77%	10%
Reciclado fisico	8	20
Recilado químico	0	20
Recuperacióan energética	15	50

Fuente: Ref. (5)

Actualizado: 03/19/2002 10:41:08

Comentarios al [Webmaster](#)

[[Homepage CEPIS](#)]



Tabla IV. Organizaciones europeas para reciclados de plásticos en automóvil

Grupo	Componentes	Descripción	Actividades
EUROPA			
EGARA	Empresas desguace	Asociación de asociaciones europeas para desguace coches	Evaluación del papel del esguace en el reciclado
ACEA	Fabricantes de coches (excepto Peugeot)	Asociación europea de fabricantes de automóviles	Desarrollo de la estrategia de reciclado
PWMI	Suministradores resinas	Instituto para el management de los residuos plásticos	Desarrollo de la estrategia (con ACEA)
ALEMANIA			
PRAVDA	Fabricantes de coches y de resinas	Grupo de trabajo en reciclado para la industria alemana del automóvil.	Investigación conjunta sobre reciclado de plásticos.
VDA	VAG, Ford, Porsche, BMW, Opel, Mercedes	Asociación de fabricantes alemanes de coches	Los miembros están ya en PRAVDA
VDIK	Importadores alemanes de coches	Asociación de importadores	Esquema piloto de reciclado de plásticos
GAVS	Miembros de VDK	Asociación de fabricantes alemanes de caucho	Estableciendo reciclado de neumáticos y no-neumáticos y esquema de incineración
ERCOM	Suministradores de resinas y transformadores		Desarrollo estructura reciclado en termoestables
GRAN BRETAÑA			
CEST	Principales Cías. británicas	Centro para la explotación de la Ciencia y la Tecnología	Esquema inicial
SMMT	Cías. relacionadas con la industria automóvil	Sociedad de fabricantes y comerciantes de industria del motor	SMMT está animando a seis miembros para unirse al proyecto de reciclado Bird/Rover
HOLANDA			
STIBA	Empresas desaguace	Asociación del desaguace del automóvil	Trabajando con el Gobierno, GE-Plastics y Volvo en reciclado de plásticos
Proyecto GOES	GE, STIBA, Volvo, gobierno holandés	Consortio reciclado automóvil	Reciclado múltiple
FRANCIA			
ANDRED	Agencia gobierno	Agencia tratamiento residuos públicos	Esquema y evaluación tratamientos residuos, automóvil.
ITALIA			
RECAP	PSA, Enichem, ICI, Fiat	Grupo de estudio	Centros de reciclado en Fiat



Figura 1. Los materiales plásticos

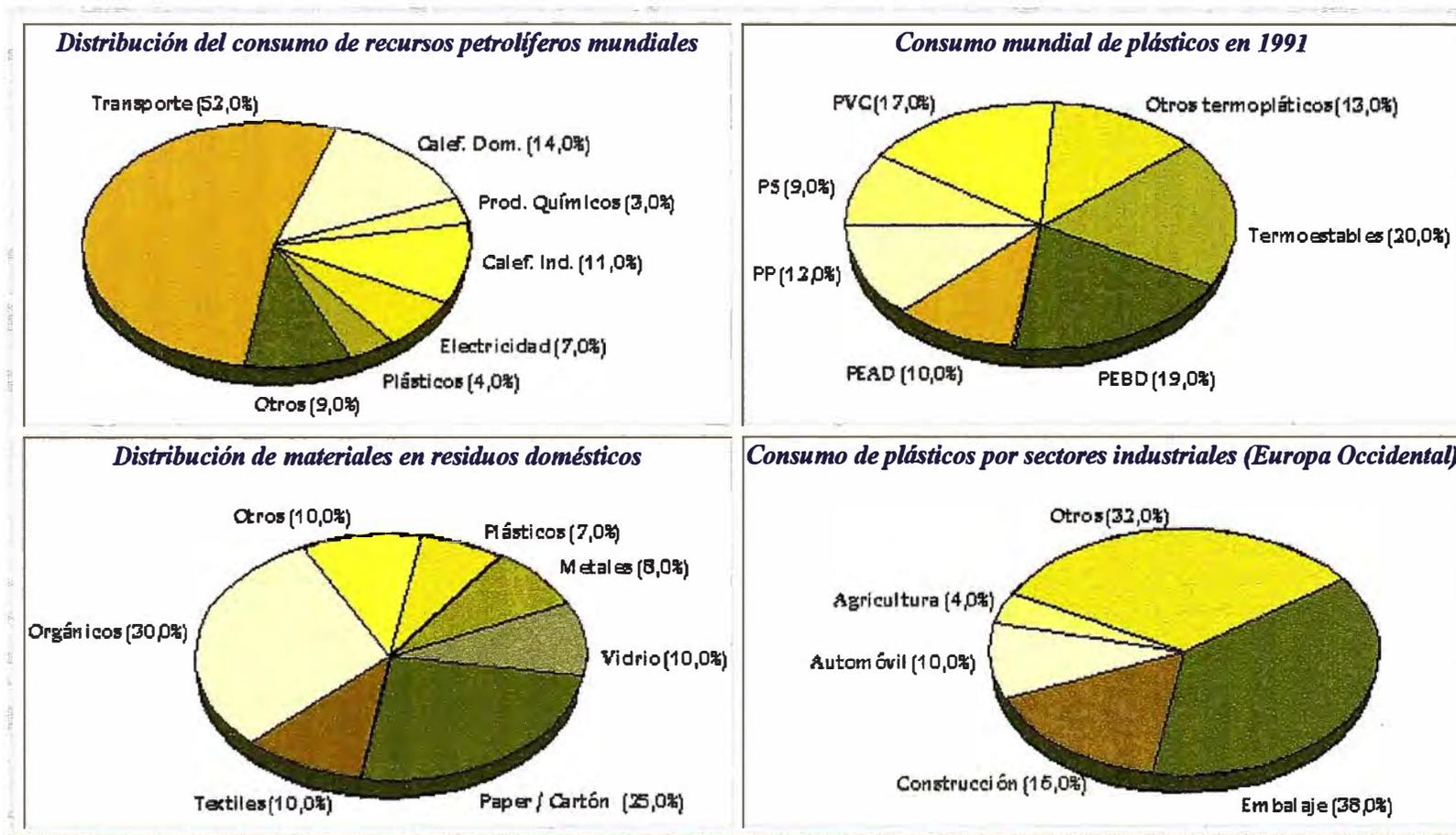
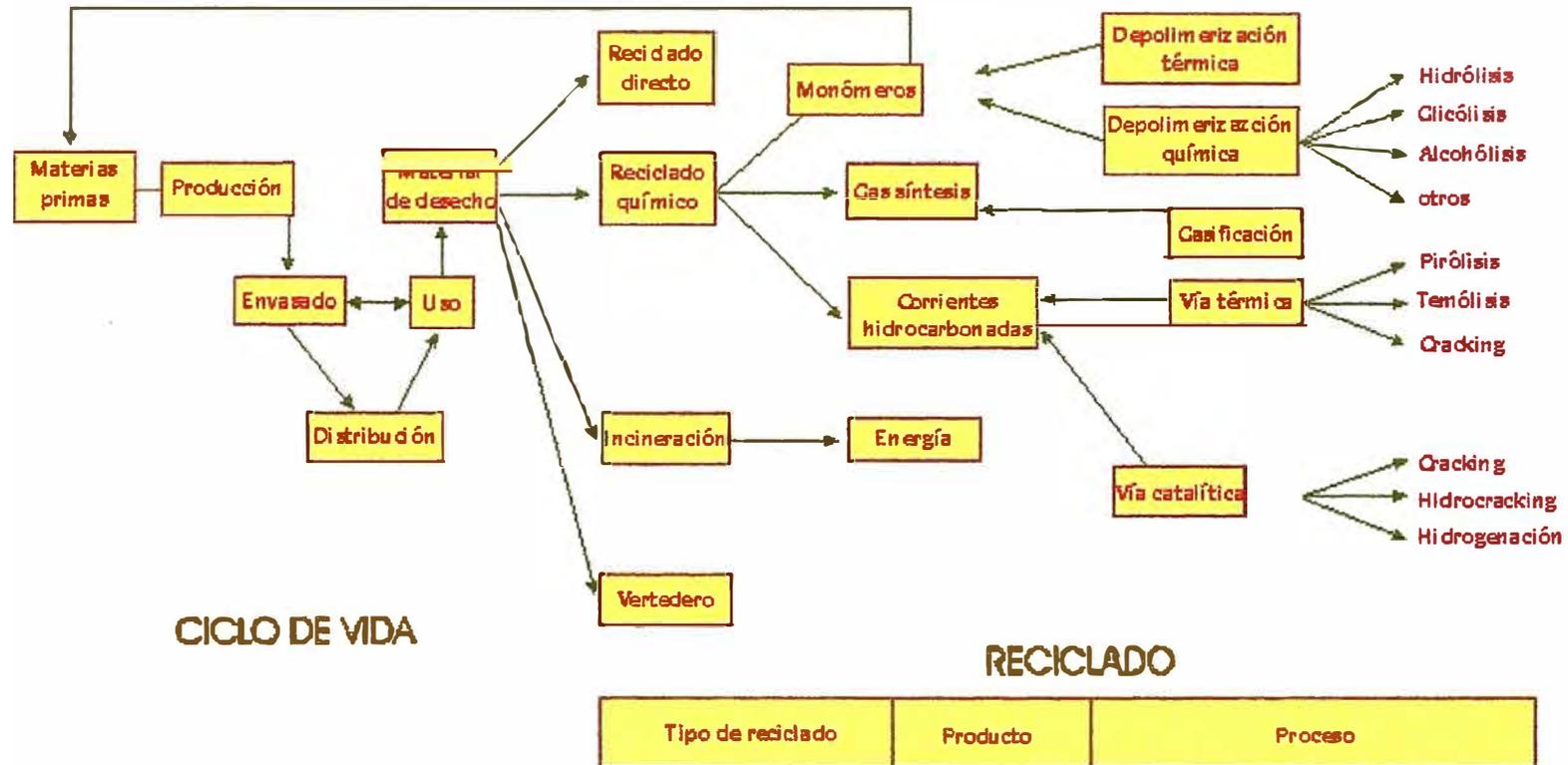




Figura 2. Ciclo de vida y reciclado para los plásticos



APÉNDICE B

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE RESINA PET MITSUI



MITSUI PET SA135 Physical Properties

Physical Properties	Unit	Test Method	SA135
Basic Properties			
IV	dl/g	MCI Method	0.82
Density	kg/m ³	ASTM D792	1400
Thermal Properties			
Melting point	°C	DSC Method	247
Glass transition temperature	°C	DSC Method	75
Heat distortion temperature	°C	ASTM D648	68
Other Properties			
Acetaldehyde	ppm	MCI Method	2 or less
	ppm	Celanese Method	1 or less
Water content	%	MCI Method	0.4 or less
Mechanical Properties			
Tensile strength at yield	MPa	ASTM D630	57
	(kg/cm ³)		(580)
Tensile strength at break	MPa	ASTM D638	58
	(kg/cm ³)		(600)
Elongation at break	%	ASTM D 638	300
Tensile modulus	MPa	ASTM D 638	2100
	(kgf/cm ³)		(21,000)
Izot impact strength	J/m	ASTM D256	60
	(kgf cm/cm)	(with notch)	(6)
Rockwell hardness	Rockwell scale	ASTM D785	110

Molding Method

Biaxially oriented blow molding

Extrusion molding

Application

Soft drink containers

Containers for alcoholic drinks

MITSUI CHEMICALS INC.

P.T. PETNESIA RESINDO

SPECIFICATIONS OF MITSUI PET RESIN SA135

GRADE		S A 1 3 5
PROCESS	Liquid-phase polymerization Solid-phase polymerization	Continuous Continuous
RAW MATERIALS	Raw material-(1) Raw material-(2) Raw material-(3)	Terephthalic acid Isophthalic acid Ethylene glycol
CATALYST	Sb(OAc) 3 (ppm as Sb) GeO ₂ (ppm as Ge)	<300 ---
PROPERTIES	Intrinsic Viscosity (dl/g) Diethylene glycol (wt%) Isophthalic acid (mol%) Melting point (°C) Melting behavior complete melting point (first heating) (°C) Color Resin (-) L (-) a (-) b (-) Density (g/cm ³) Acetaldehyde in resin (ppm) Acetaldehyde in air space of bottles (μg/l) Moisture (%) Pellet shape Bulk density (g/cm ³) Black spots per 20lbs. Of resin pellets 2 mm in diameter or larger between 1mm and 2mm diameter between 0.5mm and 1mm diameter Mold shrinkage (%)	0.82 ± 0.02 1.30 ± 0.2 2.0 ± 0.3 247 258 Clear minimum 75 -4 to +0 -4 to +1 1.4 2 <3 x=2.5 0.2~0.3 Strand type 0.03 0 0 <5 0.3
MECHANICAL PROPERTIES (UNSTRETCHED MOLDED PARTS)	Yield strength (MPa) Elongation at break (%) Modulus of tensile elasticity (MPa) Flexural strength (MPa) Modulus of flexural elasticity (MPa) Compression strength (MPa) Modulus of Compression elasticity (MPa) Notched impact strength (J/m) Hardness R-scale	57 300 2100 80 2500 80 2400 60 110
THERMAL PROPERTIES	Glass transition temperature (°C) Specific heat (kcal/kg °C) Coefficient of linear thermal expansion (x10 ⁶ cm/cm/°C) Thermal conductivity(at 23°C, 104 cal/sec/cm/°C) Heat of combustion (kcal/kg)	75 0.30 7 6 5,500

APÉNDICE C
CONCRETO POLIMÉRICO A PARTIR DE BOTELLAS
DESCARTABLES

Presentación

Edición Actual

Ediciones
Anteriores

Grupos de
Investigación

Responsables

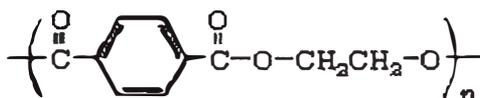
Concreto Polimérico a partir de Botellas Descartables

Autores: Jorge Chávez, Roberto Laos, Carla Rospigliosi, Javier Nakamatsu.

INTRODUCCIÓN

Muchos de los materiales que utilizamos y desecharnos cotidianamente son **plásticos**. Los plásticos pertenecen a una categoría de materiales más amplia que son los **polímeros**, los cuales se caracterizan por ser moléculas muy grandes y se forman como resultado de la unión química de muchas moléculas pequeñas (**monómeros**). La unión de los monómeros en forma consecutiva da lugar a la formación de cadenas de cientos o miles de moléculas. Las propiedades de los polímeros son completamente diferentes a las de los monómeros que los formaron originalmente, debido, justamente, a que son moléculas extremadamente grandes.

Un plástico (polímero) de uso muy difundido entre nosotros es el utilizado para la fabricación de botellas para gaseosas. Este plástico tiene el nombre técnico de **poli(etilentereftalato)**, comúnmente se le conoce como **poliéster** (como el utilizado en forma de fibra textil) o por sus siglas **PET**. Debido a que se le considera no reactivo y no tóxico, se le utiliza para envasar bebidas y alimentos. La estructura química de su unidad repetitiva (eslabón de la cadena) se muestra a continuación:



Poli(etilentereftalato), PET

Así pues, el PET consiste de cadenas muy largas compuestas por cientos de estas unidades (n unidades), similarmente a una cadena muy larga que está formada de muchos eslabones.

A pesar de ser considerado no tóxico, potencialmente representa un peligro si no es desechado de manera adecuada. Además de ocupar espacio en los rellenos municipales, si es incinerado puede producir sustancias sumamente tóxicas, como por ejemplo, dioxinas.

Hoy en día muchos plásticos son **reciclados físicamente**, para ello, generalmente son recolectados, lavados y molidos. Una vez molidos se les calienta (funde) y da la forma que se desea para su nueva aplicación. Este proceso es relativamente sencillo, pero no puede aplicarse a todos los plásticos ni realizarse numerosas veces, los plásticos reciclados son de menor calidad que el material nuevo (material virgen). Cada vez que el material es reciclado sufre un proceso de degradación que disminuye sus propiedades. Además, el reciclaje físico requiere que el material se encuentre libre de impurezas y contaminación, no sólo de sustancias tóxicas o peligrosas, sino también de otros plásticos o materiales. Este es uno de los inconvenientes más grandes para lograr un buen reciclaje físico, la separación de los materiales.

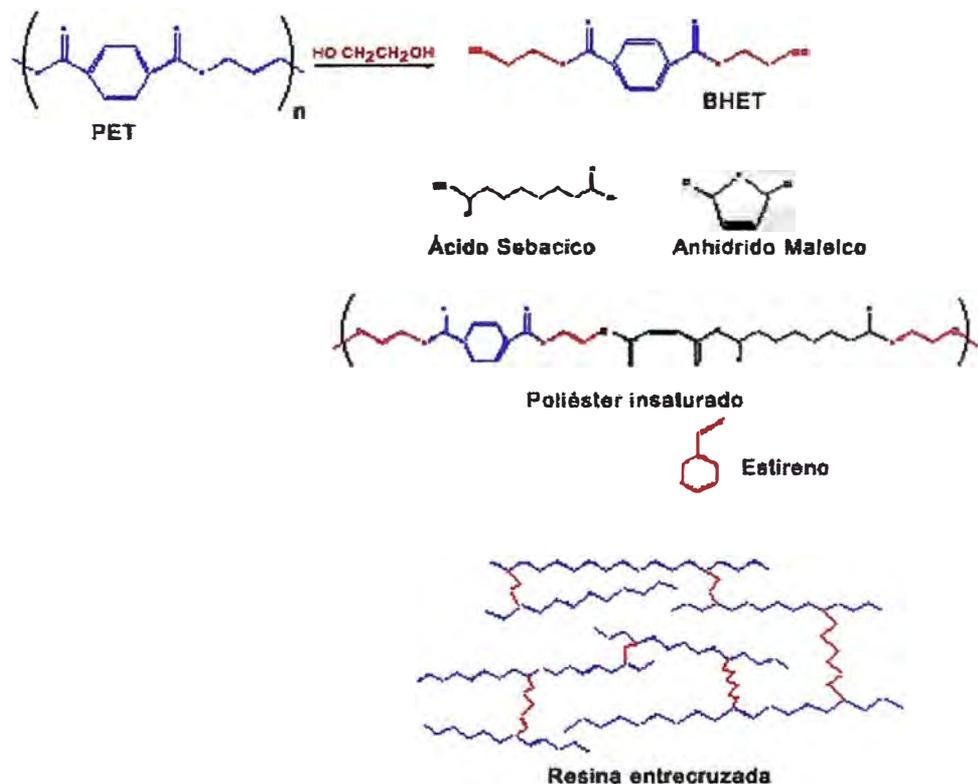
Como una alternativa al reciclaje físico se puede realizar el **reciclaje químico**, el cual, a diferencia del primero, implica cambios en la estructura química del material. El reciclaje químico, al basarse en una reacción química específica, no necesita los complicados pasos de purificación que son indispensables para el reciclaje físico. Además, permite utilizar al desecho plástico como fuente de materia prima, no sólo para producir nuevamente el material original (como material virgen), sino producir otros materiales con diferentes características.

Debido a su amplio uso existe un creciente interés por aprovechar los desechos de PET. Una alternativa es reciclar químicamente este plástico desechado para fabricar un material con aplicación en el campo de la construcción. En resumen, la idea es descomponer químicamente el PET, es decir, romper la cadena para obtener sus eslabones separados. Estos eslabones son utilizados para formar una nueva cadena, diferente de la anterior (PET). Esta nueva cadena tiene la particularidad de poseer algunos eslabones que pueden unirse a otros tres (en vez de sólo a dos), Esta nueva cadena se llama **poliéster insaturado**. Esta nueva característica de las cadenas hace que todas las cadenas puedan unirse formando una especie de red tridimensional (este proceso de unión de cadenas se conoce como **entrecruzamiento** o curado). El resultado es una estructura o matriz muy grande, interconectada y muy fuerte. Si por ejemplo, esta matriz es rellena con

arena o grava, el producto final es una especie de concreto cuyo "pegamento" o aglutinante es un polímero (en vez de cemento en el caso de concretos tradicionales). A este concreto lo llamamos **concreto polimérico**.

Este concreto polimérico posee propiedades diferentes a las del concreto convencional. Comparado con el concreto de cemento Portland los productos de concreto polimérico son de 3 a 5 veces más fuertes, mucho más resistentes a la absorción de humedad y presentan mayor capacidad de absorción de energía de impacto. Además, puede dársele propiedades según las necesidades de cada aplicación.

Nuestro trabajo consistió, en primer lugar, en estudiar la descomposición del PET a las moléculas que lo formaron originalmente (**depolymerización**). En esta etapa se probaron diferentes **glicoles** (alcoholes con dos grupos funcionales OH) en presencia de diversos catalizadores. La segunda etapa consistió en producir el nuevo polímero (poliéster insaturado) utilizando el producto de la depolymerización obtenido en la primera etapa, junto con otras moléculas. La variación de las proporciones de las moléculas que constituyen el poliéster se reflejó en las propiedades del concreto polimérico final, las cuales fueron estudiadas por medio de pruebas de resistencia similares a las utilizadas para evaluar al concreto convencional.



Esquema de la elaboración del concreto polimérico a partir del PET

MATERIALES Y MÉTODOS

Depolymerización del PET.- El PET, previamente cortado en trozos de aprox. 1 cm² y calentado a 100°C durante 3 horas, se hizo reaccionar con etilenglicol (8 mL de etilenglicol por cada gramo de PET) en un balón acoplado a un refujo bajo atmósfera inerte, en presencia de un catalizador. El producto de la reacción se dejó enfriar y se filtró y lavó con agua destilada. El producto, bis(hidroxietileno)tereftalato (BHET), se recristalizó en agua caliente.

Polymerización del poliéster insaturado.- En un balón acoplado a un destilador se hizo reaccionar el BHET con anhídrido maleico, ácido sebácico y un glicol (etilenglicol, propilenglicol o dietilenglicol), en atmósfera inerte. La temperatura de reacción fue inicialmente de 90°C, y se incrementó progresivamente a 120°, 190° y 220°C sucesivamente, manteniéndose cada una de estas temperaturas por 30 minutos, excepto la última que se mantuvo por 1h.

Elaboración del concreto polimérico.- El poliéster insaturado se mezcló con estireno (en diferentes proporciones), y luego con arena (o grava) en una relación de 8 (arena) a 1 (mezcla de poliéster y estireno). A esta mezcla se le añadió octoato de cobalto y peróxido de metil etil cetona para producir el entrecruzamiento. El concreto se dejó reaccionar a temperatura ambiente (o mayores temperaturas si se desea acelerar el proceso).

AGRADECIMIENTOS

A la DAI-PUCP por el financiamiento que hizo posible desarrollar este trabajo.

A la Química Estela Contreras y el Ing. Rubén Roca de BASF Peruana, al Dr. Marco Gómez-Barrios de ARPL Industrial por la donación de reactivos y por las facilidades para realizar las pruebas de resistencia.

REFERENCIAS

- Baliga S; Wong W.T., *J. Polym. Sci., Part A: Polym. Chem.* 1989, 27, 2071.
- Abdel-Azim A. Abdel-Azim, *Polymer Engineering and Science*, December 1996, Vol. 36, N° 24, 2973-2977.
- Abdel-Azim A. Abdel-Azim, Ibrahim A. Attia, *Polymer for Advanced Technologies*, Vol 6, 688-692.

[Volver al artículo periodístico](#)

[Presentación](#) | [Edición Actual](#) | [Ediciones Anteriores](#) | [Grupos de Investigación](#) | [Responsables](#)

Conciencia es un producto de Sinopsis - PUCP. Se permite la reproducción total o parcial de este material, siempre y cuando se cite a Conciencia como fuente original.