



UNIVERSIDAD
DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL
PIRHUA

PROPUESTA DE RECICLAJE MECÁNICO DE PLÁSTICOS EN LA CIUDAD DE PIURA

Raúl Rivera Távara

Piura, 23 de Diciembre de 2004

FACULTAD DE INGENIERÍA

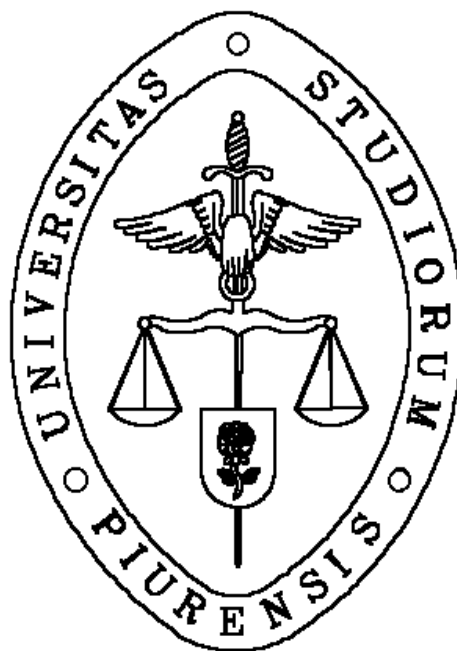
Área Departamental de Ciencias de la Ingeniería



Esta obra está bajo una [licencia](#)
[Creative Commons Atribución-](#)
[NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](#)

Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura

UNIVERSIDAD DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERÍA



“Propuesta de reciclaje mecánico de plásticos en la ciudad de Piura”.

Tesis para optar el Título de
Ingeniero Industrial y de Sistemas

Raúl Rivera Távara

Asesor: Dr. Gastón Cruz Alcedo

Piura, Diciembre 2004

A mis padres por el gran esfuerzo de
darnos la mejor educación.

A mis hermanas con cariño.

PRÓLOGO

Ser un profesional conlleva una gran responsabilidad social.

Mientras estudiaba pensaba: siendo ingeniero industrial cómo contribuiría al desarrollo industrial tan necesario en nuestro país y en Piura. Que triste era, y aún es, ver la zona industrial de Piura y Sullana tan deshabitadas, tan escasas de nuevas industrias que impulsen el desarrollo regional.

En el año 2000 el tema ambiental y la gestión de los residuos sólidos fueron objeto de varios eventos en los que participé; recuerdo que aquella charla sobre reciclaje en el auditorio de la Universidad de Piura fue el inicio de mi interés por el tema ambiental y el reciclaje de residuos. Luego vinieron las charlas de la comisión ambiental regional CAR – Piura, después la participación en GEO Juvenil viendo a tantos jóvenes estudiantes y profesionales comprometidos con el desarrollo sostenible de nuestro país.

Estas experiencias me impulsaron a pensar en el desarrollo del reciclaje de plástico no sólo como una contribución a la gestión de los residuos sólidos, sino también como una opción de desarrollo industrial en nuestra ciudad.

Espero que esta tesis sirva como una guía a futuros trabajos en el campo de la industria del reciclaje de plásticos.

Gracias a la Universidad de Piura por despertar en mí aquella responsabilidad social.

Un agradecimiento especial al Dr. Gastón Cruz por su tiempo y dedicación en el asesoramiento de esta tesis.

RESUMEN

En Piura, los residuos plásticos son comercializados a través de recuperadores ubicados en el botadero municipal y acopiadores que los venden en Lima y Trujillo a las fábricas transformadoras. Piura tiene una producción per cápita de residuos promedio de 0.6 kg/día; se generan 7 298 kg/día (219 t/mes) de residuos plásticos, de los cuales se recuperan aproximadamente 20 t/mes.

Los principales materiales plásticos recuperados son: polietileno polipropileno, PET, poliestireno, PVC, que en Piura se clasifican y se embalan para su comercialización. Sólo un reciclador realiza previamente la molienda. Los plásticos recuperados se venden entre S/. 0.12 y S/. 1.00 por kg, siendo los de mayor demanda el PET, el HDPE y el PP. El precio del *scrap* de estos plásticos asciende a S/. 1.20 (US\$ 0.35) por kg.

Si en Piura se recuperara un 85% de los residuos plásticos que se generan, se dispondría de 55 860 kg/mes de PET y 69 270 kg/mes de plástico mixto (PP + PE). Para su procesamiento se requiere maquinaria con capacidad entre 300 – 500 kg/h.

En el presente estudio se analizan tres opciones de reciclaje mecánico: dos consideran la molienda, lavado y secado de PET, con maquinaria importada y nacional respectivamente, y la otra opción considera la molienda, lavado y secado de PE + PP. Las ventas con las dos opciones de PET son de US\$ 227 640/año, mientras que para la tercera opción es de US\$ 282 240/año debido a la mayor cantidad de residuos disponibles. La inversión necesaria para el reciclaje de PET sería de US\$ 96 233 y US\$ 54 503 mientras que para el reciclaje de PE + PP sería de US\$ 95 991.

La opción elegida es el reciclaje de PET con maquinaria nacional, que nos ofrece una TIR de 201%, un VAN financiero de US\$ 266 669 con recuperación de la inversión al primer año de operación. Con maquinaria importada, el VAN financiero sería de US\$ 210 102 con una TIR de 105%, mientras que la opción PE + PP ofrece un VAN financiero de US\$ 318 948 y una TIR de 146%. Para la opción elegida se realizó además un análisis de sensibilidad respecto al precio de venta, y a la disponibilidad y costo de la materia prima.

INDICE

INTRODUCCION	1
CAPITULO I: LOS PLASTICOS Y LA INDUSTRIA PLÁSTICA EN EL PERÚ	
1.1 LOS PLÁSTICOS	3
1.1.1 Clasificación	3
1.1.1.1 Por su comportamiento frente al calor	3
1.1.1.2 Según el mecanismo de polimerización	4
1.2 ADITIVOS	4
1.2.1 Rellenos y reforzantes	4
1.2.2 Pigmentos	5
1.2.3 Estabilizadores	5
1.2.4 Agentes antiestáticos	5
1.2.5 Retardantes de ignición	5
1.2.6 Plastificantes	5
1.3 TERMOPLÁSTICOS DE USO MAS GENERAL	6
1.3.1 Polietileno tereftalato (PET)	6
1.3.2 Polietileno (PE)	6
1.3.2.1 Polietileno de baja densidad (LDPE/PEBD)	6
1.3.2.2 Polietileno de alta densidad (HDPE/PEAD)	7
1.3.2.3 Polietileno de ultra alto peso molecular (UHMWPE)	7
1.3.2.4 Polietileno lineal de baja densidad (LLDPE)	7
1.3.3 Cloruro de polivinilo (PVC) y copolímeros	7
1.3.3.1 Cloruro de polivinilo rígido	8
1.3.3.2 Cloruro de polivinilo plastificado	8
1.3.4 Polipropileno (PP)	8
1.3.5 Poliestireno (PS)	9
1.3.6 Poliacrilonitrilo (PAN)	9
1.3.7 Estireno Acrilonitrilo (SAN)	9
1.3.8 Acrilonitrilo – Butadieno – Estireno	10
1.3.9 Metacrilato de polimetilo (PMMA)	10
1.3.10 Fluoroplásticos	10
1.3.10.1 Politetrafluoruroetileno (PTFE)	10
1.3.10.2 Policlorotrifluoruroetileno (PCTFE)	11
1.3.11 Policarbonato (PC)	11
1.3.12 Acetato de celulosa (CA)	11
1.4 PLASTICOS DEGRADABLES	12
1.4.1 Plásticos biodegradables	12
1.4.2 Plásticos de degradación fotoquímica	12
1.4.3 Aplicaciones	13
1.4.4 Disposición final	13
1.5 LA INDUSTRIA PLÁSTICA EN EL PERÚ	14
1.5.1 Delimitación del subsector de plásticos	14
1.5.2 Articulación con otras actividades económica	14
1.5.3 Principales líneas de producción y productos	15
1.5.4 Planta y empleo	15
1.5.5 Valor de la producción	15

1.5.6 Importación de los principales insumos	16
1.5.7 Exportación de productos plásticos	18
1.5.8 Precios	18
1.5.9 Tipos de artículos plásticos fabricados en el Perú	20
1.5.9.1 Envases	20
1.5.9.2 Menaje de casa	20
1.5.9.3 Partes y piezas	20
1.5.9.4 Productos intermedios y terminados para vestimenta	21
1.5.9.5 Artículos de oficina	21
1.5.9.6 Productos de construcción	21
1.5.9.7 Juguetes	21
1.5.9.8 Compuestos	22
1.5.10 Expectativas de la industria plástica	22

CAPITULO II: RECICLAJE DE PLÁSTICOS

2.1 RECICLAJE	23
2.2 MARCO LEGAL DEL RECICLAJE	23
2.2.1 A nivel mundial	23
2.2.2 A nivel nacional	25
2.2.3 A nivel local	28
2.3 RECICLAJE DE PLÁSTICOS	29
2.4 PLÁSTICOS MAS COMUNMENTE RECICLADOS Y SUS APLICACIONES	30
Polietileno tereftalato (PET)	32
Polietileno (PE)	32
Polietileno de alta densidad (HDPE)	33
Policloruro de vinilo (PVC)	33
Polietileno de baja densidad (LDPE)	34
Polipropileno (PP)	34
Poliestireno (PS)	35
Otros (Plástico mezclado y multilaminados)	35
2.5 RECICLADO MECANICO	36
2.5.1 Proceso de reciclado mecánico	36
2.5.1.1 Clasificación	38
2.5.1.2 Cortado y molido de plásticos en pequeños trozos	41
2.5.1.3 Lavado	42
2.5.1.4 Secado	43
2.5.1.5 Aglomerado	43
2.5.1.6 Peletizado	43
2.5.1.7 Procesos de moldeo	44
2.5.2 Ejemplo de una planta típica de de reciclado de botellas de PET y HDPE	46
2.5.2.1 Rotura de balas y selección	46
2.5.2.2 Molienda y lavado	46
2.5.2.3 Separación	46
2.5.2.4 Secado	47
2.5.2.5 Clasificación por aire	47
2.5.2.6 Separación electrostática	47
2.5.2.7 Peletización	47
2.6 RECICLAJE QUÍMICO DE PLÁSTICOS	47
2.6.1 Métodos de reciclaje químico	48

2.6.1.1 Despolimerización química	48
2.6.1.2 Gasificación	48
2.6.1.3 La fragmentación térmica o termólisis	49
2.6.1.4 Craqueo catalítico	49
2.6.2 Ejemplo de reciclaje químico en el Perú: Concreto polimérico a partir de PET	50
2.6.2.1 Despolimerización de PET	50
2.6.2.2 Polimerización del poliéster insaturado	50
2.6.2.3 Elaboración del concreto polimérico	51
2.7 PROPIEDADES DE LOS PLÁSTICOS RECICLADOS	51
2.8 REALIDAD DEL RECICLAJE DE PLÁSTICOS EN EL PERÚ	53
2.8.1 Mercado	53
2.8.2 Importación de residuos plásticos	54
2.8.3 Exportación de residuos plásticos	55
2.8.4 Volúmenes de comercialización	56
2.8.5 Precios de residuos plásticos	57
2.8.6 Grado de procesamiento de plástico reciclado	58
2.8.7 Precios de plástico reciclado	58

CAPITULO III: DIAGNOSTICO DEL RECICLAJE DE PLÁSTICOS EN PIURA

3.1 RESIDUOS SÓLIDOS EN LA CIUDAD DE PIURA	60
3.1.1 Producción per cápita	65
3.1.2 Composición física de los residuos sólidos	65
3.1.3 Recuperación de residuos en la ciudad de Piura	66
3.1.4 Residuos plásticos en la ciudad de Piura	66
3.2 PROCESO DE RECICLAJE DE PLÁSTICO	66
3.2.1 Clasificación	67
3.2.2 Cortado	67
3.2.3 Molido	68
3.2.4 Embalaje	68
3.3 PRECIOS	69
3.4 VOLUMENES DE RECUPERACIÓN	70
3.5 MERCADO	70

CAPITULO IV: DATOS TÉCNICO ECONÓMICOS DEL PROCESO DE RECICLAJE PROPUESTO

4.1 DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA DE RECICLAJE MECÁNICO	71
4.2 PRECIOS	71
4.3 SELECCIÓN DE MAQUINARIA	73
4.3.1 Características técnicas de los equipos	74
4.3.1.1 Opción 01: Reciclaje de botellas PET	74
4.3.1.2 Opción 02: Reciclaje de PP/PE	78
4.3.1.3 Opción 03: Molienda, lavado y secado de PET	81
4.4 INVERSIÓN	81
4.4.1 Inversión en maquinaria	81
4.4.2 Inversión en equipos	82
4.4.3 Inversión en terreno	82
4.5 CAPACIDAD	82

4.6 INGRESOS	82
4.7 EGRESOS	83
4.7.1 Compra de materia prima y otros insumos	83
4.7.2 Mano de obra	84
4.7.3 Servicios	84
4.7.4 Gastos de ventas y otros	85
4.8 ESTADO DE GANANCIAS Y PÉRDIDAS Y FLUJOS DE CAJA PROYECTADOS	85
4.9 RESULTADOS	89
4.10 ANALISIS DE SENSIBILIDAD	89
4.10.1 Disminución del precio de venta del <i>scrap</i>	89
4.10.2 Disminución de la cantidad de <i>scrap</i> procesado	90
4.10.3 Aumento del costo de la materia prima	92
 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	 95
 BIBLIOGRAFÍA	 97

INTRODUCCIÓN

El desarrollo industrial y tecnológico ha traído consigo el mayor uso de recursos naturales y consigo la mayor generación de residuos. Estos residuos al no ser tratados adecuadamente afectan el ambiente; es por ello que se hace necesario la gestión de estos residuos de tal manera que contribuyamos al desarrollo sostenible de nuestro país.

La industria plástica en crecimiento y los plásticos son actores importantes en este desarrollo, ya que han reemplazado a otros materiales como el papel y los metales en muchas aplicaciones comunes y de ingeniería. Estos materiales, al término de su vida útil pueden ser reaprovechados de distintas formas, ya que de disponerse en un relleno sanitario y/o un botadero perdurarían por 500 años aproximadamente. Una de las formas de aprovechar los residuos plásticos es mediante el reciclaje mecánico.

Esta actividad es desarrollada en el Perú hace muchos años, principalmente en las ciudades de Lima y Callao, en un ámbito informal que beneficia a un grupo de personas y no a la sociedad en general. Piura no está exenta de esta realidad.

Existen distintos trabajos de investigación acerca de la industria del reciclaje de plásticos en Lima. En Piura, se han realizado trabajos referentes a la caracterización de residuos sólidos pero hasta ahora no se había presentado un estudio proponiendo el reciclaje de los residuos plásticos a nivel empresarial.

Por ello el presente trabajo pretende introducir el reciclaje de plásticos como una actividad formal que contribuya a la gestión de los residuos sólidos urbanos y el desarrollo sostenible de la ciudad de Piura.

Asimismo, son objetivos del presente trabajo diagnosticar la situación actual del reciclaje de plásticos en la ciudad de Piura, brindar información acerca de las técnicas de reciclaje de plásticos en las diferentes etapas de este proceso, dar a conocer algunas alternativas de productos que se pueden elaborar a partir de plástico reciclado y realizar una propuesta técnica y económica para el proceso de reciclaje mecánico llegando a la elaboración de *scraps*, producto a partir del cual se pueden elaborar una serie de artículos plásticos para muchas aplicaciones.

El trabajo se ha dividido en cuatro capítulos:

El Capítulo 1 trata sobre los plásticos, su clasificación, sus características y aplicaciones de los termoplásticos de uso más general; se dedica una sección a los plásticos biodegradables, objeto de investigación en los últimos años, su aplicación y disposición final; se analiza la industria plástica en el Perú, importación de los principales insumos, exportación de artículos plásticos, precios y expectativas de este subsector de la industria manufacturera en nuestro país.

El Capítulo 2 nos introduce al tema de reciclaje en sí; da una visión del marco legal del reciclaje a nivel mundial, nacional y local. Se presenta los plásticos más comúnmente reciclados y sus aplicaciones. Da a conocer las etapas de reciclaje y las técnicas utilizadas en cada una de ellas. Trata el reciclaje químico, alternativa para la gestión de residuos plásticos en países desarrollados. Se recoge información acerca de los cambios en las

propiedades de densidad e índice de fluencia de los plásticos después de ser reciclados y su influencia en otras propiedades. Asimismo, se presenta información acerca de cómo se lleva a cabo el proceso del reciclaje mecánico en el Perú, volúmenes de comercialización, importación y exportación de desechos plásticos, precios en el mercado nacional e internacional.

En el Capítulo 3 se presenta un diagnóstico de la situación del reciclaje de plásticos en la ciudad de Piura; brinda información acerca de los volúmenes de generación de residuos sólidos, producción per cápita, composición física, volúmenes de recuperación estimados. Se da a conocer las distintas etapas del proceso de reciclaje de plásticos que se llevan a cabo en Piura, información de precios y comercialización de los residuos plásticos.

En base a la información presentada y analizada en los capítulos precedentes, en el Capítulo 4 se presentan datos técnico económicos de tres opciones para el reciclaje mecánico de plásticos en Piura, a nivel de pequeña empresa. Se hace un análisis económico financiero de la inversión, ingresos y egresos necesarios para poner en marcha un negocio de reciclaje de plásticos en la ciudad de Piura.

Finalmente se presenta las conclusiones y recomendaciones del presente trabajo.

Esperamos que esta tesis sirva como guía para profundizar en el tema de reciclaje de plásticos e implementar una industria plástica en la ciudad de Piura aprovechando este tipo de residuos.

CAPITULO 1

LOS PLÁSTICOS Y LA INDUSTRIA DEL PLÁSTICO EN EL PERU

1.1 LOS PLÁSTICOS

En los últimos años los plásticos han incrementado drásticamente su uso, ya que han sustituido, en gran parte, a los metales y al vidrio como materiales para recipientes y al papel como material de embalaje. Estos materiales pueden ser empleados en la fabricación de una variedad de productos gracias a sus excelentes propiedades como son:

- ✓ Baja densidad, que permite la fabricación de objetos ligeros y reducción de costes de transporte.
- ✓ Baja conductividad térmica y eléctrica.
- ✓ Moldeo fácil, para adquirir formas variadas que sean rígidas o flexibles.
- ✓ Gran resistencia a la corrosión y a la degradación.

Los plásticos son sustancias poliméricas, en las que una macromolécula lineal o tridimensional está constituida por la repetición de unidades denominadas monómeros. Un plástico puede estar constituido por un solo tipo de monómero (homopolímero) o por varios (copolímero).

El término plástico se reserva por lo general a todos los materiales poliméricos sintéticos diferentes de las fibras y elastómeros.

1.1.1 Clasificación ^[1]

Los polímeros se clasifican siguiendo dos criterios generales: por su comportamiento frente al calor y por el mecanismo de su polimerización.

1.1.1.1 Por su comportamiento frente al calor

Termoplásticos

Se reblandecen al ser calentados y pueden ser reprocesados fácilmente, pudiendo recibir nuevas formas por extrusión o moldeo.

Termoestables

Una vez moldeados no pueden ser reprocesados por calentamiento.

Elastómeros

Presentan gran cantidad de deformación elástica al aplicarles una fuerza. Llantas de autos, empaques en forma de anillos en O, mangueras y aislamientos para conductores eléctricos son usos más comunes de estos materiales. Otros elastómeros importantes son las

siliconas. Los cauchos de silicón proporcionan resistencia a altas temperaturas, permitiendo usar el elastómero a temperaturas tan altas como 315°C.

Los elastómeros termoplásticos son un grupo especial de estos polímeros. Se comportan como termoplásticos a temperaturas elevadas y como elastómeros a temperaturas bajas. Este comportamiento permite que éstos materiales se puedan reciclar con mayor facilidad que los termoplásticos convencionales.

1.1.1.2 Según el mecanismo de polimerización

Se distinguen dos grupos de polímeros: los de adición y los de condensación.

Polimerización por adición

En los polímeros de adición, la polimerización procede por una incorporación consecutiva de monómeros a una cadena polimérica en proceso de crecimiento; a la cual se le ha añadido un iniciador como el peróxido de benzoilo.

Las cadenas pueden terminarse mediante dos mecanismos. Por combinación, la cual genera una sola cadena larga a partir de dos más cortas; y por desproporción, esta reacción formará dos cadenas en vez de combinarlas en una más larga ^[2].

Polimerización por condensación o crecimiento por pasos

En la polimerización por condensación, la formación de enlaces entre los monómeros viene acompañada de la liberación de moléculas pequeñas tales como agua, metanol, amoníaco. Requiere que por lo menos dos monómeros distintos participen en la reacción.

La longitud de la cadena del polímero depende de la facilidad con la cual se puedan difundir los monómeros hacia los extremos e intervenir en la reacción de condensación. El crecimiento de la cadena termina cuando ya no llegan más monómeros al extremo de las cadenas para continuar la reacción.

1.2 ADITIVOS

Al igual que otros materiales, también los plásticos comerciales requieren aditivos específicos para mejorar sus propiedades y proporcionar características especiales para muchas aplicaciones. En función de las múltiples exigencias existe una gran cantidad de sustancias activas de este tipo que se van incorporando al material en diferentes momentos del proceso.

1.2.1. Rellenos y reforzantes

Son materiales inertes como las fibras cortas o escamas de materiales inorgánicos empleados para mejorar algunas propiedades mecánicas. Otros son los extensores que permiten producir grandes volúmenes de material polimérico con muy poca resina reduciendo así el coste. Uno de los ejemplos más conocidos es la adición de negro de humo al caucho para conseguir la resistencia y la resistencia al desgaste de las llantas. El carbonato de calcio, el talco, la sílice y la arcilla son extensores de uso frecuente.

La resistencia y la rigidez de los polímeros mejora introduciendo filamentos de vidrio, polímero o grafito como reforzantes. Por ejemplo, la fibra de vidrio está hecha de filamentos cortos de vidrio en una matriz de grafito.

1.2.2. Pigmentos

Utilizados para producir colores en polímeros y pinturas. Son partículas finamente molidas como el dióxido de Titanio (TiO_2), que quedan uniformemente dispersas en el polímero.

1.2.3. Estabilizadores

Impiden el deterioro del polímero debido a efectos del entorno. Los estabilizadores térmicos y antioxidantes, son sustancias destinadas a proteger el polímero contra los efectos de la temperatura y el oxígeno, especialmente durante el procesado. Se requieren para el proceso de PVC, de lo contrario pueden eliminarse átomos de hidrógeno y cloro en forma de ácido clorhídrico, haciendo frágil al polímero.

Los estabilizadores contra la luz, absorben la radiación ultravioleta, destinados a evitar la degradación por la radiación.

1.2.4 Agentes antiestáticos

La mayoría de los polímeros, puesto que son malos conductores, acumulan carga por electricidad estática. Los agentes antiestáticos atraen la humedad del aire hacia la superficie del polímero, mejorando la conductividad superficial del mismo y reduciendo la probabilidad de chispas o descargas.

1.2.5 Retardantes de ignición

Dado que se trata de materiales orgánicos, la mayoría de los polímeros son inflamables. Aditivos conteniendo cloro, bromo, fósforo o sales metálicas reducen la probabilidad que se extienda la combustión.

1.2.6 Plastificantes

Sustancias (moléculas o cadenas) de bajo peso molecular. Reducen la temperatura de transición vítrea, proporcionando lubricación interna y mejorando las características de conformado del polímero. Son de particular importancia para el PVC, que tiene una temperatura de transición vítrea muy por encima de la temperatura ambiente.

Los polímeros materia del presente estudio son los termoplásticos, que por sus características antes mencionadas, presentan gran facilidad para el reciclaje. A continuación presentaremos algunos termoplásticos de uso más general.

1.3 TERMOPLÁSTICOS DE USO MÁS GENERAL ^[3].

1.3.1 Polietileno tereftalato (PET)

Es una fuerte pero ligera forma de poliéster claro. Es usado en la fabricación de recipientes para bebidas, agua, aceites, limpiadores y envasado de alimentos.

Siendo un polímero, consiste en una larga cadena de moléculas donde las unidades de repetición son carbono, oxígeno e hidrógeno.

El PET fue desarrollado inicialmente para producir fibras sintéticas. Luego empezó a usarse para películas de empaque y a inicios de 1970 para la elaboración de botellas plásticas mediante la técnica de moldeo por soplado. Hoy en día éste es su principal uso.

La estructura molecular del PET hace de éste un material fuerte, ligero y transparente. Asimismo sus propiedades físicas permiten una gran variedad de diseños.

1.3.2 Polietileno (PE)

Es un material termoplástico entre transparente y blanquecino que a menudo se fabrica en películas delgadas. Las secciones gruesas son traslúcidas y tienen apariencia cética. Con el uso de colorantes se obtienen una gran variedad de derivados coloreados.

Entre las propiedades más importantes del polietileno se pueden citar:

- ▲ Una gran tenacidad a temperatura ambiente y a bajas temperaturas, con suficiente resistencia para aplicaciones de producción;
- ▲ Una buena flexibilidad dentro de un amplio rango de temperaturas, incluso por debajo de $-73\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- ▲ Una excelente resistencia a la corrosión y muy buenas propiedades aislantes.
- ▲ Es inodoro e insípido y transmite poco el vapor de agua.

Se emplea en contenedores, como aislante eléctrico, en la fabricación de material químico (tubos y varillas), en la fabricación de artículos para el hogar y de botellas moldeadas por insuflación de aire. También se usan películas de polietileno para empaquetamientos en general y recubrimiento de pozos y estanques.

Existen dos tipos principales de polietileno; polietileno de baja densidad (LDPE/PEBD) y polietileno de alta densidad (HDPE/PEAD). Pero existen otros dos tipos resultado de la variación de las condiciones de reacción.

1.3.2.1 Polietileno de baja densidad (LDPE/PEBD)

Es sintetizado a muy altas presiones (1200 – 1500 atm) y temperatura de $250\text{ }^{\circ}\text{C}$. El polietileno de baja densidad tiene una estructura de cadena ramificada que hace que disminuya su grado de cristalinidad y su densidad ($0.91 - 0.94\text{ g/cm}^3$), pero le da una gran flexibilidad. La flexibilidad y la cristalinidad pueden ser controladas por la adición de bajas concentraciones de monómeros de acrílico o vinilo durante la polimerización. También hace disminuir su resistencia porque reduce las fuerzas intermoleculares de unión.

El LDPE tiene un extenso uso en películas para bolsas para alimentos, invernaderos, botellas, cable de aislamiento y productos moldeados por inyección.

1.3.2.2 Polietileno de alta densidad (HDPE/PEAD)

Es producido a relativamente baja temperatura (60-200°C) y presión (1-100 atm). Tiene esencialmente una estructura de cadena lineal. Presenta ramificaciones muy pequeñas sobre las cadenas principales, y así las cadenas son capaces de agruparse más próximas con lo que se incrementa la cristalinidad (80 – 95%) y la resistencia. Tiene un rango de densidad específica entre 0.94 – 0.97 g/cm³.

Sus principales aplicaciones se encuentran en la fabricación de películas (film), envases domésticos y para alimentos, juguetes, tanques de gas, tubos, cajones, etc. mediante moldeo por soplado y moldeo por inyección.

1.3.2.3 Polietileno de ultra alto peso molecular (UHMWPE)

Es realmente una variación del HDPE con un peso molecular mayor de 3×10^6 . Es un plástico fuerte y ligero usado en la industria de fibras y para aplicaciones especializadas como el uso en medicina para la manufactura de caderas artificiales.

1.3.2.4 Polietileno lineal de baja densidad (LLDPE)

Es un polímero con propiedades intermedias con respecto al HDPE y LDPE. Encuentra sus principales aplicaciones en películas, partes moldeadas por inyección y alambre aislante.

1.3.3 Cloruro de polivinilo (PVC) y copolímeros

El PVC es una combinación química de carbono, hidrógeno y cloro. Sus materias primas provienen del petróleo (en un 43%) y de la sal común (en un 57%).

El extenso uso del PVC se atribuye principalmente a su alta resistencia química y su facilidad para ser mezclado con variedad de aditivos para dar lugar a un gran número de compuestos con una amplia gama de propiedades físicas y químicas.

Se obtiene por polimerización del cloruro de vinilo, fabricado a partir de cloro y etileno.

Otra de sus muchas propiedades es su larga duración. Por este motivo, el PVC es utilizado a nivel mundial en un 55% del total de su producción en la industria de la construcción. El 64% de las aplicaciones del PVC tiene una vida útil entre 15 y 100 años, y es esencialmente utilizado para la fabricación de tubos, ventanas, puertas, persianas y muebles. Un 24% tiene una vida útil entre 2 y 15 años (utilizado para electrodomésticos, piezas de automóvil, mangueras, juguetes, etc.). El resto, 12%, es usado en aplicaciones de corta duración, como por ejemplo, botellas, tarrinas, film de embalaje, etc., y tiene una vida útil entre 0 y 2 años. La mitad de este porcentaje (un 6%) es utilizado para envases y embalajes. Esta cantidad de envases y embalajes de PVC presente en los RSU, unido a la composición cualitativa de los mismos (no presencia de metales pesados), permite convenientemente la recuperación por valorización energética (incineración), además de la recuperación por reciclaje mecánico.

Otras propiedades del PVC, que hacen que ocupe un lugar privilegiado dentro de los plásticos, son las siguientes: ligero; inerte y completamente inocuo; resistente al fuego no propaga la llama; impermeable; aislante térmico, eléctrico y acústico; resistente a la intemperie; de elevada transparencia; protector de alimentos y otros productos envasados, incluidas las aplicaciones médicas (por ejemplo, plasma y sangre); económico en cuanto a su relación calidad-precio; y reciclable.

A pesar que se ha criticado al PVC como causante de cáncer y presentar riesgos a la salud debido al uso de una variedad de aditivos, existen estudios que demuestran la inocuidad del PVC. Por ejemplo un estudio de la Unión Europea realizado en noviembre del 2003, demuestra que el DINP (di-isononil ftalato) aditivo utilizado para darle flexibilidad al PVC, es un producto seguro y no ofrece riesgos a la salud. En febrero del 2000 la Agencia Internacional de Pesquisa del Cáncer (IARC) uno de los principales organismos colaboradores de la Organización Mundial de la Salud declara al DOP (di-octil ftalato) como una sustancia que no causa cáncer^[4]. Para el caso de envases y embalajes para alimentos la FDA (*Food and Drug Administration*) de Estados Unidos declara que el PVC es seguro siempre que los niveles de cloruro de vinilo residual en los envases y embalajes de alimentos no sean mayores a 10 partes por billón^[5].

En el Perú se importa el PVC tipo suspensión empleado en la fabricación de tuberías, partes y piezas, mangueras, calzado, botellas, pisos vinílicos; y el tipo emulsión, empleado para fabricar telas, papeles plastificados, juguetes, flotadores, entre otros; en muchos casos se mezcla con el tipo suspensión para disminuir costos.

1.3.3.1 Cloruro de polivinilo rígido

El PVC sin aditivos puede encontrar algunas aplicaciones pero es difícil de procesar y además tiene una resistencia de impacto baja. El PVC rígido puede utilizarse en la construcción de sistemas de tuberías y canalones, estructuras de ventanas, moldeado de interiores y decoración. Se utiliza también para cableado eléctrico.

1.3.3.2 Cloruro de polivinilo plastificado

La adición de plastificantes al PVC produce plasticidad, flexibilidad y extensibilidad. Estas propiedades pueden fluctuar en un amplio margen con sólo ajustar la relación polímero-plastificante. El cloruro de polivinilo plastificado puede encontrar aplicación allí donde interesa complementar o sustituir papel, gomas y productos textiles. Se usa para tapizado de muebles y autos, revestimiento de paredes interiores, zapatos, bolsas de viaje y cortinas de baño. También se utiliza como revestimiento para las capotas de los autos, y en el recubrimiento de cables eléctricos y suelos.

1.3.4 Polipropileno (PP)

Es sintetizado por la polimerización del propileno, lo cual resulta en dos tipos principales de polipropileno con aplicaciones comerciales.

El polipropileno presenta una variedad de propiedades que lo hacen muy atractivo para ser utilizado en la fabricación de productos manufacturados. Entre estas propiedades podemos citar: buena resistencia física a la humedad y al calor, baja densidad ($0.90 - 0.91 \text{ g/cm}^3$), buena dureza superficial y estabilidad dimensional, buenas características aislantes. El

polipropileno posee una flexibilidad notable, lo que aconseja su uso en productos que requieran ser articulados. Estas características explican el crecimiento de este material en diferentes sectores.

Las principales aplicaciones comerciales del PP se dan en la manufactura de productos moldeados por inyección como productos para el hogar, electrodomésticos, envases, tubos, hojas y fibras textiles para las alfombras.

1.3.5 Poliestireno (PS)

El poliestireno es un material plástico transparente, inodoro, insípido y relativamente quebradizo (a no ser que se modifique esta propiedad). Junto al poliestireno con aspecto de cristal existen otras variedades de poliestirenos modificados con goma (que son resistentes a los impactos) y poliestirenos expandibles. El poliestireno es material de partida en la producción de algunos importantes copolímeros.

Los poliestirenos en general tienen buena estabilidad dimensional, baja contracción en moldeo y además se pueden procesar fácilmente con un bajo coste. Sin embargo terminan siendo alterables a la intemperie y sensibles al ataque químico por disolventes orgánicos y aceites. Los poliestirenos poseen buenas propiedades mecánicas en el margen de las temperaturas de trabajo.

El poliestireno encuentra aplicación en el recubrimiento de interiores de automóviles, electrodomésticos, discos, manillares y utensilios de cocina en general.

1.3.6 Poliacrilonitrilo (PAN)

Este material polimérico se utiliza a menudo en forma de fibras, y debido a su fuerza y estabilidad química, se utiliza también como comonomero en algunos termoplásticos industriales.

El acrilonitrilo se utiliza en forma de fibra como lana en chompas y mantas. También es usado como comonomero para producir copolímeros de estireno – acrilonitrilo (resinas SAN) y terpolímeros acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS).

1.3.7 Estireno – Acrilonitrilo (SAN)

Los termoplásticos estireno-acrilonitrilo (SAN) son miembros de la familia del estireno de grandes prestaciones industriales.

Las resinas SAN tienen mejor resistencia química, más altas temperaturas de deflexión térmica, superior tenacidad y mayor capacidad de soportar cargas estructurales que los poliestirenos solos. Los termoplásticos SAN son rígidos y duros, se procesan fácilmente y exhiben la transparencia y claridad del poliestireno.

Las resinas SAN son de aplicación en espejos, componentes de automóviles, paneles de soporte de fibra de vidrio, manillares, máquinas mezcladoras, jeringas para la extracción de sangre, cristales de seguridad para construcción y menaje de cocina (principalmente tazas y vasos).

1.3.8 Acrilonitrilo – butadieno – estireno (ABS)

Los materiales ABS son conocidos por sus propiedades optimizadas para la ingeniería como, buena resistencia al impacto y solidez mecánica combinada con su fácil procesamiento.

El amplio rango de propiedades útiles para la industria exhibidos por los ABS se debe a la contribución de las propiedades de cada uno de sus componentes. El acrilonitrilo contribuye con su buena tenacidad; el butadieno con su fuerza de impacto y baja propiedad de retención y el estireno con su brillo superficial, su rigidez y su fácil procesamiento. Las resistencias al impacto de los plásticos ABS se incrementa a medida que aumenta el tanto por ciento de butadieno pero, en cambio disminuyen propiedades como la resistencia a la tensión y las temperaturas de deflexión térmica.

La mayor utilidad de los ABS se encuentra en tuberías y herramientas, particularmente en las tuberías de drenaje - desagüe – ventilación de los edificios. Otros usos de los ABS son los recubrimientos de las puertas e interiores de los frigoríficos, las máquinas de oficina, las carcasas y cubiertas de computadoras y teléfonos, en conductores eléctricos y en aplicaciones de escudo frente a interferencias electromagnéticas de radio frecuencia.

1.3.9 Metacrilato de polimetilo (PMMA)

El metacrilato de polimetilo es un termoplástico duro, rígido y transparente que ofrece buena resistencia a las inclemencias del tiempo y es más resistente al impacto que el vidrio. Este material es más conocido con los nombres comerciales de Plexiglás® o Lucite® y es el material más importante del grupo termoplásticos conocidos con el nombre de acrílicos.

El PMMA se utiliza para acristalar aviones, embarcaciones, claraboyas, iluminación exterior y señales publicitarias. Otros usos adicionales están representados por las lunas traseras de los automóviles, pantallas de seguridad, gafas protectoras, picaportes y asas.

1.3.10 Fluoroplásticos

Estos materiales están constituidos por monómeros que contienen uno o más átomos de flúor. Todos ellos tienen excelentes propiedades a entornos químicos hostiles y propiedades destacadas como aislantes eléctricos. Estos fluoroplásticos que contienen un alto porcentaje de flúor tienen bajos coeficientes de fricción, lo que confiere propiedades autolubricantes.

Los más comúnmente usados son:

1.3.10.1 Politetrafluoruetileno (PTFE)

Conocido comercialmente como Teflón®, es un polímero cristalino con un punto de fusión de 327°C. Debido a su alto coeficiente de viscosidad no es posible utilizar los procesos convencionales de moldeo por extrusión e inyección.

El PTFE es utilizado para tuberías resistentes a reactivos químicos, aislamiento de cables a altas temperaturas, componentes eléctricos, cintas de grabación y recubrimientos antiadherentes. También encuentra aplicación en juntas, retenes y cojinetes.

1.3.10.2 Policlorotrifluoroetileno (PCTFE)

Es un material menos cristalino y más moldeable. Así el PCTFE tiene un punto de fusión más bajo (218°C) que el PTFE y puede ser extruido y moldeado por procesos convencionales.

Los productos extruidos, moldeados y maquinados de PCTFE son utilizados para equipos de procesamiento químico y aplicaciones eléctricas. Otras aplicaciones incluyen juntas elásticas, retenes y componentes eléctricos.

1.3.11 Policarbonato (PC)

Es comercializado bajo los nombres de Lexan[®] y Merlon[®]. Posee alta resistencia, tenacidad y estabilidad dimensional.

Las resistencias a la tensión de los policarbonatos a temperatura ambiente son relativamente altas, sobre los 62 MPa, y sus resistencias al impacto son muy altas, de 680 a 854 J/m. Tienen altas temperaturas de deflexión térmica, buenas propiedades como aislantes eléctricos, buena resistencia a la termofluencia y son transparentes. Los policarbonatos son resistentes a una variedad de productos químicos pero son atacados por bastantes disolventes. Su alta estabilidad dimensional permite su utilización en componentes de precisión en ingeniería que requieren tolerancias estrictas. También son usados para fabricar envases para el almacenamiento de agua.

La alta resistencia al impacto y transparencia del policarbonato lo han llevado a muchas aplicaciones de ingeniería, pero se ha destacado especialmente en tres usos principales: láminas coextruidas, lámparas automotrices y en la fabricación de discos compactos. Esta última aplicación se está extendiendo a los discos DVD, con nuevos policarbonatos de alta pureza, fabricados, por ejemplo, por Bayer en asociación con Teijin de Japón. En el campo médico, nuevos grados de policarbonato ofrecen la resistencia química necesaria para administrar medicinas intravenosas con base en emulsiones lipídicas. También existen grados resistentes a la esterilización con óxido de etileno o con rayos gama. Una tendencia importante es hacia la fabricación de lentes ópticos y protectores de los ojos. En la actualidad, más de 15% de los lentes de contacto correctivos de la visión que se producen en Estados Unidos se fabrican con grados especiales de policarbonato. Los nuevos grados de policarbonato de alta fluidez se emplean también en electrodomésticos y equipos de oficina, con sistemas de moldeo por inyección de pared delgada ^[7].

1.3.12 Acetato de celulosa (CA)

Pertenece a la familia de las resinas celulósicas; como el celuloide se obtiene mediante la modificación química del polímero natural, la celulosa, el cual es una de las sustancias orgánicas más comunes en la naturaleza. Es la primera materia plástica estampada a inyección. Tiene el aspecto de un polvo blanco y debido a su aspecto agradable se utiliza sobretodo para la producción de objetos transparentes, translúcidos y opacos entre los cuales tenemos: las teclas para las máquinas de escribir y calculadora, pulsadores,

revestimiento de volantes para automóviles, empuñadura de cuchillos, tacos para zapatos, pantallas, vidrios de relojes, partes de máscaras de protección, mangos de paraguas, juguetes, etc.^[6]

También es recomendado como material de almacenamiento para películas fotográficas.

1.4. PLÁSTICOS DEGRADABLES^[7]

Debido a que los plásticos normales tardan en promedio 500 años en degradarse, ya desde comienzos de los años setenta se debatía y exigía permanentemente la introducción y utilización de materiales degradables con la esperanza de reducir el tratamiento de estos materiales.

Actualmente se entiende por plásticos degradables aquellos polímeros, que después de usados se descomponen bajo condiciones normales en un periodo relativamente breve, desintegrándose.

Observando más detenidamente, se trata de plásticos, que en su cadena de polímeros contienen componentes que dan lugar a una reacción de descomposición biológica o fotoquímica, que destruye la estructura encadenada de los polímeros. Debido a dicha reacción de descomposición, la pieza plástica se torna frágil, desintegrándose mecánicamente en pequeños pedazos. A medida que avanza el proceso de degradación el material se va desintegrando en partículas cada vez más pequeñas, hasta convertirse en anhídrido carbónico y agua.

Según el tipo de reacción de descomposición, los plásticos degradables se dividen en dos categorías:

1.4.1 Plásticos biodegradables

A lo largo de la primera mitad del siglo XX, la investigación de materiales sintetizados a partir de ácido glicólico y otros ácidos-alcoholes, fue abandonada porque los polímeros resultantes eran demasiado inestables para su utilización industrial a largo plazo. Esto fue el principio del desarrollo de los plásticos biodegradables, polímeros biodegradables o bioplásticos.

Los bioplásticos de nueva generación retienen sus propiedades termoplásticas a lo largo del ciclo de vida del producto manufacturado pero, una vez depositado en condiciones de compostaje o metanización, se biodegradan completamente del mismo modo que los residuos orgánicos, es decir, son transformados por microorganismos en agua, dióxido de carbono y/o metano a un ritmo equivalente o superior al de la celulosa.

1.4.2 Plásticos de degradación fotoquímica

En los plásticos de degradación fotoquímica, por efecto de la luz solar (radiación ultravioleta) las cadenas de polímeros se degradan formando cadenas moleculares más cortas, que a su vez pueden continuar degradándose por acción de microorganismos (biodegradación) o bien fotoquímicamente.

El factor decisivo para la aplicación de plásticos degradables consiste en que la reacción que desencadena la degradación no se produzca durante el uso normal del material. De manera que los plásticos biodegradables sólo deberían descomponerse en la tierra o compost, es decir allí donde los microorganismos correspondientes generan la degradación. Por el contrario los plásticos de degradación fotoquímica solamente deberían descomponerse por la fuerte incidencia de la luz solar.

1.4.3 Aplicaciones

Los primeros desarrollos de polímeros degradables apuntaban a ser aplicados en áreas en las que la ventaja técnica residía justamente en la capacidad de degradación.

Entre ellos están los polímeros a base de ácido láctico, utilizados en medicina como material de sutura quirúrgica o como implantes reabsorbibles. Estos implantes se disuelven en el cuerpo, con lo cual se pueden evitar caras operaciones adicionales.

También en el caso de las películas para uso agropecuario prevalece el aspecto técnico de la degradación frente a la problemática del tratamiento de los desechos. Estas películas contribuyen al crecimiento precoz de los cultivos, sin embargo deben ser retiradas antes del ingreso de las cosechadoras automáticas. Utilizando películas degradables se torna innecesario retirarlas mecánicamente, con lo cual se pueden dañar las plantas.

Una vez cumplida la vida útil de la película, cuando comienza la descomposición, se puede arar la tierra, incorporando el material degradable de manera económica y ecológica.

Otro campo de aplicación para plásticos degradables es el sector de la jardinería (películas, macetas, etc.). Ver Fig. 1.1 y 1.2.



Fig 1.1 Maceta biodegradable



Fig 1.2 Bolsa biodegradable

1.4.5 Disposición final

La disposición final ordenada de los plásticos biodegradables sólo puede realizarse en forma de compostaje o bien fermentación en áreas expresamente asignadas para ello. Para una adecuada disposición final es necesario contar con un área de recolección amplia, con suficiente capacidad de compostaje y debe además asegurarse la utilización del compost producido para los cultivos.

La evaluación de plásticos biodegradables debe responder a un concepto integral. Los objetivos de desarrollo deben fijarse de tal manera, que tanto la provisión de materia prima, como la producción, utilización y disposición final respondan a criterios ecológicos como económicos.

Los polímeros biodegradables tienen posibilidades allí donde la biodegradación resulte macroeconómicamente razonable, ecológicamente ventajosa y positiva para el consumidor.

1.5 LA INDUSTRIA PLÁSTICA EN EL PERÚ

La fabricación de productos plásticos forma parte del sector manufacturero de bienes intermedios según la clasificación de la Sociedad Nacional de Industrias (SNI).

1.5.1 Delimitación del subsector de plásticos

Comprende la fabricación de productos primarios de plástico tales como planchas, láminas, películas, hojas y tiras; tubos, caños y mangueras; planchas, cintas, tiras, y otras formas planas adhesivas; revestimiento de plástico para pisos paredes y techos, en rollos y en forma de losetas; y otros productos primarios de plástico.

Fabricación de artículos finales de plástico: artículos sanitarios, incluso bañeras, duchas, lavabos, tazas de inodoros, cisternas de inodoros, etc.; garrafones, botellas, etc; servicios de mesa, utensilios de cocina y artículos de tocador; puertas, ventanas y sus marcos, postigos y persianas; y otros artículos como accesorios para aislamiento, piezas de lámparas y accesorios de alumbrado, material escolar y de oficina, artículos de vestuario, accesorios para muebles, carrocerías de vehículos y artículos similares, estatuillas y otros artículos ornamentales.

1.5.2 Articulación con otras actividades económicas

Los insumos que utiliza esta industria, tales como polietileno de alta densidad, polietileno de baja densidad, policloruro de vinilo tipo emulsión y tipo suspensión, polietileno tereftalato, polipropileno y poliestireno, provienen de la industria petroquímica, en tal sentido, este subsector requiere importar los insumos químicos básicos necesarios para su proceso productivo ya que en nuestro país no existe una industria petroquímica que provea los insumos a este subsector. Se espera que con la explotación del gas de Camisea se inicie el desarrollo de esta industria.

De otro lado, los productos que elabora este subsector se orientan a los sectores de:

- Bebidas: botellas y cajas.
- Farmacéutica: envases para medicamentos.
- Pesca: cajas, mantas y sacos.
- Agricultura: cajas cosechadoras, sacos y mangueras.
- Construcción: tuberías y accesorios de tubería.
- Comercio: Artículos de uso doméstico e industrial.

1.5.3 Principales líneas de producción y productos

Las principales líneas de producción de este subsector y los correspondientes productos, son aquellos que figuran en la tabla 1.1:

Tabla 1.1 Principales líneas y productos plásticos ^[8]

Líneas de producción	Productos
Envases de plástico	Botellas, frascos, galoneras, bidones, tachos, cajas, cilindros, bolsas.
Partes y piezas	Tuberías, uniones, tees, codos, llaves de paso de líquidos, tapas y tapones.
Menaje	Vajilla de plástico, baldes, tinas, jarras, vasijas
Artículos personales	Peines, ganchos, bolsos, adornos, calzado.
Otros productos de plástico	Mangueras, sacos, mantas, pisos vinílicos, hojas, laminados, mangas, tripas y cajas industriales.

1.5.4 Planta y empleo ^[8]

La industria plástica a nivel nacional suma un total de 930 unidades productivas activas, al año 1999. Estas empresas operativas de la industria del plástico representan el 31% del total de manufacturas que se desenvuelve al interior de la división química y productos derivados del petróleo, así como de 3.2% respecto al total de la industria fabril en el Perú.

Esta industria genera un nivel de mano de obra que se ubica en 24 personas (permanentes) por planta, nivel superior al promedio industrial que asciende a 21 trabajadores.

Por otro lado la mayor concentración de plantas de fabricación plástica está en Lima (95%) donde predominan las pequeñas empresas que representan 75% del total y genera el 25% de la mano de obra de la industria en análisis. La mediana industria agrupa a 22% del total de empresas y emplea 61% de la mano de obra ocupada. Las grandes empresas representan el 0.5% del total de empresas de la rama y generan el 14% del total de la fuerza laboral. Se estima que en el sector se desenvuelven 9 000 personas.

A noviembre del 2003 la industria plástica viene operando a 71.3% de su capacidad instalada.

1.5.5 Valor de la producción ^[9]

La producción de la industria plástica a noviembre del 2003, determinada de acuerdo al consumo de resinas, fue de 12 937 281 kg, presentando un crecimiento de 2.41%

Al analizar el valor de la producción generada por la industria del plástico desagregada por departamentos, podemos observar que en Lima existe una concentración del 88% de la producción plástica, seguida por Ica (4.1%), Arequipa (3.6%), La Libertad (2.9%) y otros. Por otro lado, de la producción total generada por la industria plástica, 77% es consumida

por el mercado de Lima, 21% en provincias y 2% por el mercado externo. El 21% del valor agregado generado en esta industria corresponde a la pequeña industria, 57% a la mediana industria y 22% a la gran industria.

El dinamismo registrado por la industria se sustenta por la expansión del subsector de envases, básicamente por los ligados a la elaboración de bebidas, aguas gasificadas y productos alimenticios, expandiéndose las dos primeras en 10% y el rubro de productos alimenticios hizo lo mismo en un 11%. Dichas industrias son las que principalmente consumen PET como insumo. Además, el subsector de envases representa el 37% de la estructura productiva de la industria plástica.

Un tema muy importante es la informalidad y la competencia desleal que según cálculos realizados componen entre el 17% y 20% de la producción formal.

En otros aspectos se puede observar que hay una preocupación de parte del estado por la industria nacional y lo podemos confirmar con la rebaja de los aranceles sobre materias primas, que han afectado positivamente al sector plástico con cerca del 10% de las partidas arancelarias beneficiadas. Al reducirse del 12% al 4% los aranceles se ha permitido importar materias primas en mejores condiciones económicas, incidiendo favorablemente sobre los costos de producción.

Estas medidas de reducción arancelaria deben ampliarse también a los rubros de maquinarias, equipos, partes y piezas que tanta falta hacen para mejorar tecnológicamente y poder competir con los productos importados, brindando nuevas posibilidades de producciones para la exportación.

1.5.6 Importación de los principales insumos

Analizando la tabla 1.2, las importaciones de los principales insumos para la industria del plástico en el año 2003 fueron de 311 415.5 t. Entre los niveles de consumo de las principales materias primas de la industria plástica destaca el mayor consumo de resinas PET en virtud de la mayor producción de bebidas gaseosas; el polipropileno y el polietileno de baja densidad.

En general, en el año 2003 la importación de insumos para la industria plástica se incrementó en 6% con respecto al año 2002. Las resinas que más aumentaron su importación en el año 2003 fueron las resinas acrílico butadieno estireno (ABS), estireno acrílico nitrilo (SAN) y PET.

Tabla 1.2 Importación de los principales insumos de la industria plástica

DESCRIPCION	2002			2003			VARIACION (%)		
	VALOR FOB US\$	VALOR CIF US\$	t NETO	VALOR FOB US\$	VALOR CIF US\$	t NETO	FOB	CIF	t
POLITEREFTALATO DE ETILENO	51 455 120.02	54 823 531.78	64 555.82	80 045 859.24	84 162 653.32	86 897.65	55.56	53.52	34.61
POLIETILENO DE DENSIDAD SUPERIOR O IGUAL A 0.94	27 794 532.63	31 145 016.01	49 708.92	31 590 666.17	34 881 655.52	48 335.33	13.66	12.00	-2.76
POLIETILENO DE DENSIDAD INFERIOR A 0.94	32 406 846.27	36 245 737.15	53 521.30	36 960 534.13	40 439 228.02	50 514.03	14.05	11.57	-5.62
POLICLORURO DE VINILO, TIPO EMULSION	1 641 884.14	1 756 808.87	1 956.20	1 557 077.30	1 654 097.87	1 676.79	-5.17	-5.85	-14.28
POLICLORURO DE VINILO, TIPO SUSPENSION	28 992 241.00	31 489 209.25	52 446.61	31 748 892.88	33 638 569.40	49 889.58	9.51	6.83	-4.88
POLIPROPILENO	35 413 387.21	38 661 947.71	60 962.68	44 751 813.68	47 846 826.77	63 303.74	26.37	23.76	3.84
POLIESTIRENO EXPANDIBLE	1 215 852.17	1 314 502.11	1 261.07	1 434 215.02	1 536 058.19	1 369.11	17.96	16.85	8.57
POLIESTIRENO NO EXPANDIBLE	6 024 920.42	6 578 580.50	8 718.65	7 522 784.69	8 097 993.41	9 035.60	24.86	23.10	3.64
ESTIRENO-ACRILONITRILO (SAN)	264 085.40	288 180.37	234.76	139 968.53	150 000.59	123.34	-47.00	-47.95	-47.46
ACRILONITRILO-BUTADIENO-ESTIRENO (ABS)	208 928.94	224 189.68	161.58	339 249.95	359 834.63	270.30	62.38	60.50	67.29
TOTAL	185 417 798.20	202 527 703.43	293 527.59	236 091 061.59	252 766 917.72	311 415.47	27.33	24.81	6.09

Elaboración propia

Fuente: Superintendencia Nacional de Administración Tributaria www.aduanet.gob.pe

1.5.7 Exportación de productos plásticos

Las exportaciones de productos plásticos a noviembre del 2003 registraron un valor FOB US \$ 732 362 910, con un peso neto exportado de 1 227 940.96 t.

En el año 2003 las exportaciones mostraron un importante crecimiento. Entre los meses de enero a mayo crecieron entre 5% y 6%. Hace tres años las exportaciones representaban el 1% del PBI del sector plástico y actualmente se exporta el 5% de la producción interna; este crecimiento se debe a los planes de expansión que ha iniciado el sector privado. Actualmente se ha ingresado a la Comunidad Europea y se esta analizando la oportunidad de ingresar al mercado norteamericano para aprovechar los beneficios de la Ley de Promoción Comercial Andina y Erradicación de la Droga (ATPDEA por sus siglas en inglés) ^[10].

El sector plástico exporta principalmente productos tales como telas plásticas, pisos vinílicos, artículos de oficina y menaje para el hogar a países de la Comunidad Andina de Naciones (CAN) y de América Central como Costa Rica, Panamá y El Salvador.

1.5.8 Precios

En la tabla 1.3 se puede apreciar los precios promedio FOB y CIF por tonelada de las principales resinas plásticas que se importaron en el año 2002 y 2003. Este cálculo se ha hecho en base al total de importaciones de los principales insumos utilizados por la industria plástica en nuestro país.

En el año 2003 las resinas, en promedio, incrementaron sus precios FOB en 10.5% y sus precios CIF en 8.9% respecto al año 2002.

Las resinas que incrementaron sus precios en mayor porcentaje fueron las resinas de polipropileno seguida por las resinas de polietileno de densidad inferior a 0.94 g/cm³ y las resinas de poliestireno no expandible.

De las resinas que se importan en mayor cantidad (ver tabla 1.3) el PET alcanza un precio más alto por tonelada 797.06 US\$ FOB, seguido por el polietileno de densidad inferior a 0.94 g/cm³ con 605.49 US\$ FOB y el polipropileno con 580.9 US\$ FOB.

Tabla 1.3 Precios FOB y CIF de los principales insumos de la industria plástica

DESCRIPCION	PRECIO (US\$) POR TONELADA 2002		PRECIO (US\$) POR TONELADA 2003		VARIACION (%)	
	FOB	CIF	FOB	CIF	FOB	CIF
POLITEREFTALATO DE ETILENO	797.06	849.24	921.15	968.53	15.57	14.05
POLIETILENO DE DENSIDAD SUPERIOR O IGUAL A 0,94	559.15	626.55	653.57	721.66	16.89	15.18
POLIETILENO DE DENSIDAD INFERIOR A 0,94	605.49	677.22	731.69	800.55	20.84	18.21
POLICLORURO DE VINILO, TIPO EMULSION	839.32	898.07	928.61	986.47	10.64	9.84
POLICLORURO DE VINILO, TIPO SUSPENSION	552.80	600.41	636.38	674.26	15.12	12.30
POLIPROPILENO	580.90	634.19	706.94	755.83	21.70	19.18
POLUESTIRENO EXPANDIBLE	964.14	1 042.37	1 047.55	1 121.94	8.65	7.63
POLUESTIRENO NO EXPANDIBLE	691.04	754.54	832.57	896.23	20.48	18.78
ESTIRENO-ACRILONITRILO (SAN)	1 124.90	1 227.54	1 134.86	1 216.20	0.89	-0.92
ACRILONITRILO-BUTADIENO-ESTIRENO (ABS)	1 293.06	1 387.50	1 255.08	1 331.23	-2.94	-4.06
TOTAL	800.79	869.76	884.84	947.29	10.50	8.91

Elaboración Propia

Fuente: Superintendencia Nacional de Administración Tributaria www.aduanet.gob.pe

1.5.9 Tipos de artículos plásticos fabricados en el Perú ^[8]

1.5.9.1 Envases

En la fabricación de envases encontramos una variedad de productos tales como: botellas, frascos, bolsas, sacos, cajas, bidones, cintas, películas, termoformados, tapas y mallas, entre otros.

Estos productos pueden fabricarse con aditivos atóxicos para el envasado de productos alimenticios y cosméticos, o con aditivos normales para otros usos, como frascos para la industria farmacéutica.

Existe en este campo un alto grado de sustitución del vidrio, lo cual origina fuertes tasas de incremento en las etapas iniciales de introducción al mercado. No obstante existe una gran competencia con los productores de envases de vidrio.

La demanda de estos productos es indirecta y está asociada al crecimiento de la capacidad adquisitiva de la población. El mercado final es el de productos de consumo masivo; principalmente alimentos y comestibles envasados (aceite, bebidas), cosméticos y artículos de tocador.

El mercado de envases está de cierta manera protegido porque las importaciones no resultan competitivas debido al costo del flete. En los últimos años, estas líneas de producción han tenido una gran expansión, en especial para alimentos y bebidas gaseosas.

1.5.9.2 Menaje de casa

En este rubro encontramos artículos para cocina (recipientes, espumaderas, etc), servicio de mesa (platos, vasos, cubiertos, etc), limpieza (escobillas, recogedores, etc), baño (jaboneras, esponjas, etc) tocador (peines, cepillos, etc), mobiliario (mesas, sillas, etc) y adornos ceniceros, estatuillas, jarrones, guirnalda navideñas, etc), entre otros.

En este caso por la diversidad de productos se necesita una gran cantidad de matrices y moldes. Observándose cierta deficiencia de los mismos en el mercado nacional.

La principal competencia de las empresas dedicadas a este rubro son los productos metálicos y en menor medida los de madera. A diferencia del rubro de envases, la durabilidad y la resistencia del producto, como el diseño son cualidades muy apreciadas por el consumidor y permiten la demanda de los mismos.

1.5.9.3 Partes y piezas

La fabricación de productos plásticos se orienta a distintos sectores productivos como minería, industria, agricultura, pesquería, comercio y salud.

Al igual que en el caso anterior se necesita una gran variedad de moldes, una gran resistencia de los productos y una impecable presentación.

La mayoría de empresas del rubro se dedica a la fabricación de partes y piezas para la industria donde pueden colocar una gran variedad de productos.

En gran medida, el mercado de estos productos depende del nivel de actividad económica, la disminución de costos, la innovación y sustitución de otros materiales.

1.5.9.4 Productos intermedios y terminados para vestimenta

En este rubro, se produce, telas y productos conexos (manteles, cortinas, ropa, etc), calzado, pasamanería (botones, canutos de hilos, hebillas, etc), accesorios (billeteras, correas, broches, armazones ópticos, etc) y bisutería (aretes, collares), entre otros.

Tradicionalmente, la totalidad de la producción era destinada al mercado interno, pero a partir de 1994 se están realizando pequeñas exportaciones al mercado boliviano y chileno, particularmente en productos como marroquí y PVC laminado.

La demanda de estos productos depende de la evolución de la capacidad adquisitiva de la población. El mayor número de empresas productoras se concentra en la fabricación de calzado de plástico, en productos como sayonaras y zapatillas, seguida por las empresas de confecciones que utilizan muchas veces combinaciones con materiales textiles.

1.5.9.5 Artículos de oficina

En cuanto a los artículos de oficina existe una variedad de productos, tales como: lapiceros, reglas, folders, forros, micas, carpetas, portafolios, maletines, loncheras, llaveros, letreros, entre otros.

En este caso, la producción es estacional en la época escolar y está supeditada también a la capacidad adquisitiva de la población.

No existe, como en el resto de casos, concentración de las empresas en determinado tipo de productos.

1.5.9.6 Productos de construcción

La fabricación de productos para la construcción es variada comprendiendo: tuberías, conexiones, mangueras, recubrimientos, pisos, techos, tabiquería, perfiles, accesorios eléctricos (cables, etc.) y grifería, entre otros.

El consumo de estos productos está ligado principalmente a los proyectos industriales, mineros, electrificación e irrigación que existan y a la construcción de viviendas.

La mayor parte de las empresas de este rubro se dedica a la producción de tuberías rígidas y conexiones, como también una cantidad importante a la fabricación de mangueras. La competencia con productos similares del extranjero no es significativa, cubriendo la industria nacional los requerimientos del mercado interno.

1.5.9.7 Juguetes

Este rubro comprende la fabricación de juegos para armar o montar, muñecas, pelotas, globos, artículos para juegos de salón, artículos para fiestas, artículos deportivos, entre otros.

La producción de este tipo es estacional en la época navideña y su evolución se encuentra determinada por la capacidad adquisitiva de la población y novedad de los productos.

En el mercado nacional prima la presencia de empresas dedicadas a la producción de juguetes para armar y para fiestas. Existe una gran competencia con productos del extranjero en este rubro, quienes tienen una presencia superior en el mercado nacional, determinándose numerosos casos de subvaluación y contrabando de los mismos, principalmente en las cercanías de las fiestas navideñas.

1.5.9.8 Compuestos

Este subsector es el más pequeño, hay pocas empresas dedicadas a la fabricación de compuestos, tales como rellenos, compuestos de PVC, espumas, entre otros.

El mayor número de fábricas del rubro se encuentra en la producción de espumas. En la mayoría de casos, las propias empresas preparan sus compuestos (fundamentalmente en la mediana y gran empresa) o los importan.

1.5.10 Expectativas de la industria plástica

En el periodo enero-mayo del 2003, el mercado de productos plásticos registró un crecimiento del 5% impulsado básicamente por la venta de envases PET, tendencia que se viene manteniendo en los últimos cuatro años. Esto no implica que todo el sector está creciendo, el único subsector que destaca es el de envases PET, el cual ha influenciado positivamente el sector en general. Otro subsector que viene mostrando buen desempeño es el de menaje. No obstante, los subsectores ligados al sector construcción, cables, tuberías, enchufes, entre otros, han mostrado signos de recuperación luego que el gobierno relanzará los programas Mi Vivienda y Techo Propio.

Por otro lado en los primeros cinco meses del año 2003 las inversiones en el sector plástico ascendieron a US \$ 20 millones; esta inversión estuvo orientada principalmente a la compra de maquinaria; muchos empresarios buscan modernizar sus plantas, no solo para tornarse más competitivas en el exterior sino para competir en igualdad de condiciones con los productos que ingresan libres de arancel de la Comunidad Andina, sobre todo de Colombia y Venezuela, países productores de insumos plásticos.

Se espera que el mercado de plásticos registre un crecimiento de 6% a 7% este año impulsado por el mayor dinamismo de las exportaciones.

CAPITULO II

RECICLAJE DE PLÁSTICOS

2.1 RECICLAJE

El reciclaje es una estrategia de gestión de los residuos sólidos. Un método para la gestión de los residuos sólidos igual de útil que el vertido o la incineración pero ambientalmente, más deseable ^[12].

Es el proceso por el cual se aprovechan los residuos para la obtención de nuevos productos.

Mediante el reciclaje se protege el ambiente porque:

- Se preservan los recursos naturales.
- Se evitan focos de contaminación.
- Las industrias ahorran energía y reducen costos de producción minimizando sus residuos.
- Los municipios abaratan sus costos de recolección, transporte y disposición final de la basura.
- Se alarga la vida útil de los rellenos sanitarios.
- Se genera empleo.

Los residuos son introducidos en el ciclo de producción y consumo, generalmente en aplicaciones secundarias.

Para reciclar cualquier material presente en los residuos, tiene que poder ser procesado en una materia prima viable y limpia. Esta materia prima debe convertirse luego en un producto. Este producto debe comercializarse y distribuirse, hay que encontrar clientes y convencerlos para comprar y seguir comprando dicho producto fabricado con materiales residuales.

Por lo tanto el reciclaje requiere cuatro elementos ^[12]:

- 1.- Recolección.
- 2.- Selección de materias primas.
- 3.- Recuperación de la materia prima para fabricar el producto.
- 4.- Mercados y clientes que compren el producto.

2.2 MARCO LEGAL DEL RECICLAJE

2.2.1 A nivel mundial

En América Latina, Estados Unidos y Europa existen diversos modelos de política legislativa que regulan la gestión de los residuos sólidos.

En países de Europa (Alemania, Austria, Bélgica, España, Francia, Holanda, Italia, Suecia, Suiza y Reino Unido) se ha implementado la Directiva de Envases y Residuos de Envases

que se basa en el principio de “quien contamina paga”, haciendo responsables a quienes integran, de alguna manera, la cadena del envase/embalaje: fabricantes de materias primas, transformadores, embotelladores/empaquetadores y distribuidores. Por otra parte se ha permitido que este sector pueda crear sistemas privados y paralelos a los municipales de recolección diferenciada y recuperación de envases.

La legislación española promueve la elaboración de productos o utilización de envases que favorezcan la prevención en la generación de residuos y faciliten su reutilización, reciclado o valorización de sus residuos o permitan su eliminación de la forma menos perjudicial.

En Estados Unidos no se encuentra una legislación nacional que obligue a los Estados respecto a la gestión de los residuos sólidos. De hecho, la ley general deja a libertad de cada Estado y Municipalidades la forma que consideren más apropiada para gestionar los residuos. Hay, sin embargo, una ley federal que influyó notablemente para que se produjera un cambio en el manejo de los residuos sólidos urbanos, esta es el Acta de Recuperación y Conservación de los Recursos. Dicha acta regula y limita el uso y cantidad de rellenos sanitarios, regula los parámetros para la incineración y promueve el reciclado.

También se ha aprobado la legislación que exige la identificación de los envases plásticos por tipo de resina según el código de la Sociedad de Industria del Plástico SPI.

Por su parte, Japón, cuenta desde Abril de 1997 con la Ley de Reciclado de Envases. Esta ley promueve el reciclado de envases y embalajes provenientes de los residuos domésticos. Esta ley se ha aplicado paulatinamente, comenzó con botellas de PET, de vidrio y envases de papel. Desde Abril del 2000 se viene recuperando el resto de materiales de plásticos y otros materiales ^[13].

La legislación venezolana pone énfasis en regular el precepto constitucional de protección del ambiente y la salud, así como el establecimiento del municipio como unidad mínima territorial descentralizada y encargada de la prestación del servicio de aseo urbano.

En Nicaragua, aunque no existe una legislación específica, la normativa señala que la prestación del servicio de aseo es de competencia municipal, que es obligatoria la disposición final de los residuos y que el Estado deberá establecer incentivos fiscales, a fin de promover la inversión en el reciclaje de residuos domésticos y comerciales para su industrialización y reutilización.

En el caso de Uruguay, las municipalidades desarrollan actividades de promoción del segregado y reciclaje, superando el esquema normativo nacional.

México se ha constituido en un país líder, ya que ha fijado el esquema de regulación en la gestión de residuos distinta y ambientalmente más avanzada de América Latina y el Caribe con la ley para la Promoción del Principio de la Economía de la Recirculación y la Eliminación ambientalmente aceptada de desechos (27.09.94) con vigencia a partir del 07 de octubre de 1996. Esta ley establece la economía de círculos de reutilización; de esta manera, los residuos innecesarios no deberían producirse, en principio. La producción, los productos y su consumo deben ser transformados de manera que los residuos inevitables generados en su transcurso sean recirculados en la producción como materias reciclables o

utilizadas en la elaboración de nuevos productos. Solo los residuos no apropiados para una economía de reutilización deben ser excluidos de los círculos de reutilización y conducidos a una eliminación ambientalmente aceptada (tratamiento o disposición final).

Así, México opta por priorizar explícitamente, y en ese orden, la minimización, el reciclaje y la eliminación, fijando en el Estado la obligación de establecer las condiciones básicas para el cumplimiento de estos principios.

La política ambiental nacional de Colombia en relación con el sector de residuos sólidos señala que se promoverá un programa nacional de manejo de residuos sólidos y reciclaje, que comprometa la participación de los municipios, al sector productivo y la sociedad civil, para considerar toda la cadena de producción, distribución y disposición final de residuos, incluyendo rellenos sanitarios y sistemas para el manejo de residuos peligrosos. Además respalda a las empresas comunitarias de aseo y reciclaje en los programas de recolección y reciclaje de residuos.

Bolivia fomenta la recolección selectiva de residuos sólidos así como la utilización de residuos reciclados en la fabricación de productos. Si bien la actividad del reciclaje se daba en varias ciudades de manera informal, con la Ley de Residuos Sólidos se pretende formalizarla y potenciarla.

Chile y Ecuador promueven la minimización, el segregado y el reciclaje de residuos sólidos, por iniciativa municipal o privada ^[20].

2.2.2 A nivel nacional ^[20]

La Ley General de Residuos Sólidos (Ley N° 27314 del 21 de julio del 2000) establece derechos, obligaciones, atribuciones y responsabilidades de la sociedad en su conjunto, para asegurar una gestión y manejo de los residuos sólidos, sanitarios y ambientalmente adecuados, con sujeción a los principios de minimización, prevención de riesgos ambientales y protección de la salud y el bienestar de la persona humana.

La ley define como residuos sólidos aquellas sustancias, productos o subproductos en estado sólido o semisólido de los que su generador dispone, o está obligado a disponer, en virtud de lo establecido en la normatividad nacional o de los riesgos que causan a la salud y el ambiente, para ser manejados a través de un sistema que incluya, las siguientes operaciones o procesos: minimización de residuos, segregación en la fuente, reaprovechamiento, almacenamiento, recolección, comercialización, transporte, tratamiento, transferencia y disposición final.

La ley busca entre otras cosas:

- ✓ Establecer principios, lineamientos y pautas para el manejo integrado de los distintos tipos de residuos sólidos, considerando todas sus etapas de manejo, desde la generación hasta su disposición final.
- ✓ Establecer sistemas apropiados de auditoría y fiscalización de los servicios de manejo de los residuos sólidos.

- ✓ Orientar la gestión de los residuos hacia la consolidación de estrategias de minimización y prevención de los impactos ambientales significativos.
- ✓ Incentivar la participación de sector privado y de la sociedad civil en el mejoramiento del manejo de los residuos sólidos.

En el campo del reciclaje de residuos, la ley establece algunos lineamientos que procuran un manejo integral y sostenible de los residuos sólidos:

- ✓ Desarrollar y usar tecnologías, métodos, prácticas y procesos de producción y comercialización que favorezcan la minimización o reaprovechamiento de los residuos sólidos y su manejo adecuado.
- ✓ Fomentar el reaprovechamiento de los residuos sólidos y la adopción complementaria de prácticas de tratamiento y adecuada disposición final.
- ✓ Promover el manejo selectivo de los residuos sólidos.

Además, la Ley General de Residuos Sólidos establece algunos lineamientos importantes para la inversión privada y formalización de las personas y entidades que intervienen en la manejo de los residuos sólidos.

Otras normas que tratan acerca de la gestión de los residuos sólidos y el reciclaje son ^[29]:

El Código de Medio Ambiente y los Recursos Naturales (DL N° 613 – 08/09/90) en su artículo N° 106 establece que, el Estado fomenta y estimula el reciclaje de desechos domésticos para su industrialización y reutilización, mediante procedimientos sanitarios que apruebe la autoridad competente.

La Ley General de Salud (Ley N° 26842), establece que los residuos que proceden de establecimientos donde se fabriquen, formulen, envasen o manipulen sustancias y productos peligrosos deben ser sometidos al tratamiento y disposición que señalen las normas correspondientes.

De conformidad con esta norma, el Ministerio de Salud tiene como misión definir políticas y normar los aspectos sanitarios en el manejo de los residuos sólidos, así como supervisar y controlar acciones con los gobiernos locales y regionales. Es en este sentido que el Reglamento de Aseo Urbano (DS N° 033-81-SA) le encarga vigilar la calidad del servicio de limpieza pública, aprobar los proyectos de disposición final de residuos sólidos y establecer mecanismos de coordinación para reservar áreas destinadas a la disposición final de residuos sólidos.

La Ley Orgánica de Municipalidades (Ley N° 23853) establece que corresponderá a las municipalidades normar y controlar las actividades relacionadas con el saneamiento ambiental, ejecutar el servicio de limpieza pública por si mismas o a través de concesiones, y ubicar las áreas para la acumulación de basura y/o el aprovechamiento industrial de residuos. Esta disposición se complementa con el Reglamento de Acondicionamiento Territorial, Desarrollo Urbano y Medio Ambiente (DS N° 007-85-VC) que señala que los municipios harán cumplir las normas e impondrán sanciones cuando se disponga inadecuadamente de los residuos sólidos.

En el Perú la gestión y manejo de los residuos es regulada, fiscalizada, promovida y sancionada por las siguientes autoridades:

El Consejo Nacional del Ambiente (CONAM) es la autoridad competente para coordinar, promover y concertar el adecuado cumplimiento y aplicación de la Ley General de Residuos Sólidos con las autoridades sectoriales y municipales, siendo específicamente competente para: promover la aplicación de los planes integrales de gestión ambiental de los residuos sólidos en las distintas ciudades del país; incluir en el Informe del Estado del Ambiente en el Perú el análisis referido a la gestión y el manejo de los residuos sólidos e incorporar en el Sistema Nacional de Información Ambiental, datos referidos a la gestión y manejo de los residuos sólidos.

Para los aspectos de gestión de residuos, la Autoridad de Salud a nivel nacional es la Dirección General de Salud Ambiental del Ministerio de Salud; a nivel regional son las Direcciones Regionales, y en Lima y Callao las Direcciones de Salud. Le compete a esta autoridad, entre otros:

- ✓ Regular los aspectos técnico-sanitarios del manejo de los residuos sólidos, incluyendo los correspondientes a las actividades de reciclaje, recuperación y reutilización.
- ✓ Regular el manejo de residuos sólidos de establecimientos de atención de salud, así como los generados en campañas sanitarias.
- ✓ Administrar y mantener actualizado el registro de las empresas prestadoras de servicios de residuos sólidos, de las empresas comercializadoras y de los auditores de residuos.

De esta manera, las competencias del CONAM referidas a promoción, información y concertación, se distancian de las autoridades de salud referidas a actividades técnico-sanitarias y de registro de operadores.

Para que una empresa sea registrada como empresa comercializadora de residuos sólidos (EC-RS), debe presentar ante la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA) los siguientes documentos ^[26]:

- 1.- Solicitud dirigida al Director General de DIGESA con carácter de declaración jurada.
- 2.- Ficha de registro (otorgada por DIGESA).
- 3.- Copia de la constancia de inscripción de la empresa en los registros públicos o copia de la escritura de constitución de la empresa.
- 4.- Memoria descriptiva de las actividades de comercialización realizadas detallando el manejo específico de los residuos sólidos, según tipo y características particulares, procesamiento, reuso, cartera de clientes, entre otros, firmado por el ingeniero responsable.
- 5.- Planos de distribución de la infraestructura de residuos sólidos.
- 6.- Pago de derecho de trámite (20% de UIT).

De acuerdo con la Ley General de Residuos Sólidos, la gestión y manejo de los residuos de origen industrial, agropecuario, agroindustrial o de instalaciones especiales que se realicen en el ámbito de las áreas productivas e instalaciones industriales o especiales utilizadas

para el desarrollo de dichas actividades, son reguladas, fiscalizadas y sancionadas por los ministerios u organismos regulatorios o de fiscalización correspondientes. Así por ejemplo: El Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción, a través de la Dirección General de Medio Ambiente del Sub Sector Vivienda y Construcción regula la gestión de los residuos sólidos de la actividad de la construcción y el transporte de residuos peligrosos.

2.2.3 A nivel local ^[27]

La gestión de los residuos sólidos de responsabilidad municipal en el país debe ser coordinada y concertada, especialmente en las zonas urbanas, en armonía con las acciones de las autoridades sectoriales y las políticas de desarrollo regional. Las municipalidades provinciales están obligadas a realizar las acciones necesarias para la debida implementación de esta disposición.

La autoridad municipal, provincial y distrital es responsable de la gestión y manejo de los residuos de origen domiciliario, comercial y de las actividades que generen residuos similares, correspondiéndoles:

- ✓ Regular y fiscalizar el manejo y la prestación de los servicios de los residuos sólidos de su jurisdicción.
- ✓ Adoptar medidas que conduzcan a promover la constitución de empresas prestadoras de servicios de residuos sólidos, así como incentiva y priorizar la prestación privada de los servicios.
- ✓ Promover y garantizar servicios de residuos sólidos administrados bajo principios, criterios y contabilidad de costos de carácter empresarial y,
- ✓ Autorizar y fiscalizar el transporte de residuos peligrosos en su jurisdicción, con excepción del que se realiza en las vías nacionales y regionales.

La gestión de los residuos sólidos, se rige bajo la Ley Orgánica de Municipalidades y la Ley General de Residuos Sólidos, las cuales otorgan a las municipalidades distritales y provinciales las facultades para regular y fiscalizar la prestación de los servicios de manejo de residuos domiciliarios, comerciales y de aquellas actividades que generen residuos similares a éstos de carácter no peligroso, así como la limpieza pública en sus respectivas jurisdicciones. Asimismo, por esta ley, la municipalidad es responsable de las plantas de transferencia, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos.

En virtud a las leyes mencionadas, en el año 1999, la Municipalidad Provincial de Piura, llevó a cabo el estudio denominado “Plan operacional: Recolección de residuos sólidos de Piura” que permitió determinar la población, producción per cápita y producción total de residuos sólidos por urbanizaciones o asentamientos urbanos pertenecientes a cada zona. Asimismo, incluye procedimientos que deben ser cumplidos por los empleados de recolección y normas para la seguridad en el trabajo.

De igual manera, en el año 2003 se elaboró el proyecto piloto “Mejoramiento de la capacidad instalada en el proceso de limpieza pública mediante la clasificación de los residuos sólidos en la ciudad de Piura” el cual consiste en la segregación de los residuos

sólidos desde la fuente de generación motivando la participación de los usuarios o demandantes del servicio de limpieza pública.

2.3 RECICLAJE DE PLASTICOS

El reciclaje de los plásticos significa la recuperación y el reprocesamiento de los mismos, cuando su vida útil terminó, para usarlos en nuevas aplicaciones.

Debido al amplio uso en el embalaje y el envasado, la mayor parte de los desperdicios plásticos son de origen doméstico. Puede considerarse que los plásticos empleados en el embalaje, envasado y en agricultura tienen una vida inferior a un año, mientras que los que son utilizados en artículos domésticos o eléctricos presentan una duración de entre uno y diez años y los del sector del mobiliario y del automóvil no aparecen como residuos antes de los diez años.

El impacto ambiental generado por los plásticos es muy importante debido a ^[17]:

- Su resistencia a la degradación, circunstancia que motiva su acumulación en los vertederos.
- Los plásticos contienen usualmente una variedad de aditivos como estabilizadores, agentes reforzantes, plastificantes, etc, los cuales pueden generar sus propios efectos ambientales. Por ejemplo, es relativamente frecuente el cadmio, cuyas sales son altamente tóxicas.
- Su baja densidad es causa de un mayor impacto visual y una elevación en el coste de su recolección y transporte. Así para obtener una tonelada de plástico es necesario recoger 20,000 botellas.
- La separación de los objetos de plástico de los residuos municipales resulta costosa.

Aún con todos los efectos ambientales nocivos que presentan los plásticos, los beneficios que conlleva su empleo son muchos, incluso en lo que se refiere al impacto ambiental. Puede considerarse la reducción del consumo de energía asociado a la disminución del peso en el transporte de alimentos o en el sector de la automoción.

Por ejemplo: un camión que transporta bebidas en envases de vidrio, acarrea un 43% de su carga en el peso de los envases, mientras que con envases de plástico, éstos suponen tan sólo un 7% de la carga. La reducción en el peso de un automóvil por la introducción de material plástico supone una reducción de 200 a 300 kg de peso y unos 750 L de gasolina en 150 000 km aproximadamente equivalentes a un ahorro del 7%.

El reciclado de los plásticos es aplicable tan solo cuando el coste energético del proceso de reciclado es inferior al de producción de nuevos materiales. Sin embargo, esto no debe llevarnos a reacciones precipitadas. Si los plásticos nuevos derivados del petróleo son más económicos que los plásticos procedentes del material reciclado, esto no es algo que deba utilizarse automáticamente en contra del reciclado. Al contrario, es más un indicador de que el precio del crudo está aún demasiado bajo a la vista de su naturaleza finita y de que ello fomenta que se desperdicie, en vez de reciclar los materiales y retornarlos al bucle de producción.

2.4 PLÁSTICOS MÁS COMÚNMENTE RECICLADOS Y SUS APLICACIONES

En la tabla 2.1 muestra la codificación de los plásticos más comúnmente reciclados a nivel mundial y en la tabla 2.2 se muestran las principales características de éstos.

Tabla 2.1 Código SPI de los plásticos reciclables.

CODIGO SPI	DESCRIPCION
	Polietileno tereftalato (PET)
	Polietileno de alta densidad (HDPE)
	Policloruro de vinilo (PVC)
	Polietileno de baja densidad (LDPE)
	Polipropileno (PP)
	Poliestireno (PS)
	Otros (ejemplo: ABS, SAN, PC)

Tabla 2.2 Resumen de las características de los plásticos más comúnmente reciclados ^[15]

	(1) PET	(2) HDPE	(3) PVC	(4) LPDE	(5) PP	(6) PS	(7) OTROS
NOMBRE COMPLETO	POLIETILENO TEREFALATO	POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD	POLICLORURO DE VINILO	POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD	POLIPROPILENO	POLIESTIRENO	PC; ABS; SAN; EVA; PMMA
PUNTO DE FUSIÓN	250 – 270 °C	125 – 135 °C	150 – 200 °C	110 – 120 °C	160 – 170 °C	70 – 115 °C	
DENSIDAD	1.37 – 1.40 g/cm ³	0.95 – 0.97 g/ cm ³	1.16 – 1.45 g/cm ³	0.91 – 0.94 g/ cm ³	0.90 – 0.91 g/ cm ³	1.04 / 1.09 g/ cm ³	
USOS Y APLICACIONES	Envases para gaseosas, Aceites, Agua mineral, cosmética, películas transparentes, fibras textiles, laminados de barrera (productos alimenticios), bandejas para microondas, geotextiles (pavimentación /caminos), películas radiográficas	Envases para detergentes, aceites de motor, champú, lácteos, bolsas para supermercados, bazar y menaje, cajones para gaseosas, cervezas, baldes para pintura, helados, caños para gas, agua, drenaje y uso sanitario, macetas, bolsas tejidas.	Botellas para aceites, agua mineral, yogurt, etc. Tuberías para agua, desagüe, suelas de calzado, sandalias, botas, capas, tapas de libros, artículos para oficina, balones, manteles, etc.	Bolsas de todo tipo: supermercados, boutiques, panificación, etc, películas para agricultura (invernaderos), base para pañales descartables, bolsas para suero, contenedores herméticos domésticos.	Película / Film (para alimentos, golosinas, indumentaria), bolsas de rafia tejidas, envases industriales (Big Bag), hilos, tapas en general, envases, cajas para bebidas, baldes para pintura, fibras para tapicería, cajas de baterías	Envases para lácteos (yogurt, postres, etc.), helados, dulces, etc., vasos, bandejas de supermercado, contraportas y anaqueles, máquinas de afeitar descartables, platos, cubiertos, juguetes, cassettes, planchas de PS espumado	Partes de computadoras. Teléfonos, electrodomésticos, CD's, Accesorios náuticos y deportivos, Piezas de ingeniería aeroespacial, Artículos para cosmetología; botellones de agua
VENTAJAS Y BENEFICIOS	• Barrera a los gases • Transparente • Irrompible • Liviano • Impermeable • No tóxico • Inerte (al contenido)	• Resistente a las bajas temperaturas. • Irrompible • Liviano • Impermeable • Inerte (al contenido) • No tóxico	• Liviano • Ignífugo • Resistente a la intemperie y a la corrosión • Transparente • No tóxico • Inerte (al contenido) • Buena permeabilidad. • Resistente al impacto • No es atacado por bacterias o insectos.	• No tóxico • Flexible • Liviano • Transparente • Inerte (al contenido) • Impermeable • Económico	• Inerte (al contenido) • Resistente a la temperatura (hasta 135°C) • Barrera a los aromas • Impermeable • Irrompible • Brillo • Liviano • Transparente en películas • No tóxico • Alta resistencia química	• Brillo • Ignífugo • Liviano • Irrompible • Impermeable • Inerte y no tóxico • Transparente • Fácil limpieza	• Alta resistencia a la intemperie y cambios de temperatura. • Mejor resistencia química. • Buenas propiedades como aislante • Mayor rigidez y dureza • Transparente
SE RECICLA EN	Alfombras, fibras, films, envases para alimentos y productos no alimenticios.	Bolsas de residuos, caños, madera plástica para postes, marcos, film para agricultura.	Tuberías para electricidad y desagüe, cubrecables, suelas de calzado.	Bolsas de residuos, caños, madera plástica para postes, marcos, film para agricultura, etc.	Tabla de plástico, muebles de jardín, pilotes, postes y vallas, pitas de rafia, baldes y conos.	Desde macetas para plantas, accesorios de oficina, asilamientos térmicos.	



Polietileno Tereftalato (PET)

El PET se recicla de la siguiente forma: Una vez recolectado, los envases de PET van a las estaciones de reciclado donde son molidos en forma de scraps. Los scraps son separados y lavados de acuerdo con las especificaciones del mercado. El PET recuperado luego es vendido a los fabricantes quienes lo convierten en productos útiles.

En Estados Unidos, alrededor de un 75% del PET recuperado se usa para hacer fibras de alfombras, ropa y geotextiles. La mayor parte del 25% remanente es extruido en hojas para termoformado, inyectado / soplado en envases para productos no alimenticios, o compuesto para aplicaciones de moldeo. Ver fig. 2.1.



Fig. 2.1 Envases elaborados con PET reciclado

El PET también puede ser depolimerizado a través de metanólisis o glicólisis. Dichos procesos someten al PET a una reacción química que lo reduce a sus monómeros o a sus materias primas originales. El resultante luego es purificado o vuelto a reaccionar, dando un nuevo PET que puede usarse para envases de alimentos, etc ^[17].

En algunos lugares, el PET es usado para envases de alimentos a través de su transformación en la lámina central de una estructura multilaminada o por limpieza especial.

La incineración con recuperación energética representa el 17% de la disposición de los residuos sólidos en EE.UU. El PET tiene un alto valor de incineración de 23.26 MJ/kg.

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

En el Perú el PET reciclado es usado en la fabricación de calaminas plásticas; y para la elaboración de menaje doméstico ^[30].

Polietileno (PE)

Dentro de este tipo de plásticos encontramos el polietileno de alta densidad (2 HDPE) y el polietileno de baja densidad (4 LDPE).

El polietileno reciclado es utilizado para fabricar bolsas de residuos, caños, madera plástica para postes, marcos, film para agricultura, etc.

El polietileno, como todo residuo plástico, contiene energía comparable con la de los combustibles fósiles, de ahí que constituye una excelente alternativa para ser usado como combustible para producir energía eléctrica y calor (poder calorífico 46 MJ/kg ^[31]).

El polietileno, al igual que otros plásticos, es un material demasiado valioso como para desecharlo; por lo que su valorización es siempre la opción preferible para su tratamiento. Pero de no mediar otra opción, si tienen que ser enterrados en un relleno sanitario, es importante saber que los residuos de polietileno son absolutamente inocuos para el medio ambiente. Por su naturaleza son inertes y no sufren degradación lo cual nos garantiza que no generan lixiviados de productos de degradación, líquidos o gases que puedan emitirse al suelo, aire o aguas subterráneas^[13].



Polietileno de alta densidad (HDPE)

Los artículos de consumo más frecuentemente producidos a partir de HDPE reciclado son botellas de detergentes y recipientes para aceite de motor. Las botellas se hacen generalmente en tres capas, la capa intermedia contiene el material reciclado. La capa interior de resina virgen proporciona una barrera fiable y la capa exterior el color y un aspecto uniforme. El HDPE reciclado se utiliza también para envolturas protectoras, bolsas de plástico, tuberías y productos moldeados como juguetes y cubos^[32]. Ver fig. 2.2.



Fig. 2.2 Artículos elaborados con HDPE reciclado



Policloruro de vinilo (PVC)

Los productos típicamente reciclados incluyen: recipientes que no son para comida, cortinas para duchas, recubrimientos para tolvas de camiones, alfombras de plástico para laboratorios, suelas de calzado, mangueras, azulejos de suelo, tuberías de riego, tuberías de drenaje, accesorios, tiestos para plantas, juguetes, láminas y piezas moldeadas^[32]. Ver fig. 2.3.

Químicamente, el PVC puede ser reciclado mediante degradación térmica, la cual se inicia siempre por la emisión de HCl, formando una poliolefina que se descompone posteriormente. Se comprende así que la presencia de PVC en la mezcla de partida afecta la termólisis de todos los demás polímeros^[17].



Fig. 2.3 Piezas elaboradas con PVC reciclado

El mayor problema con el reciclaje de PVC se presenta con la recogida y la selección. La mayor parte de la selección se realiza a mano, basándose bien en los códigos de identificación o bien la línea “sonrisa” característica del fondo de las botellas de PVC moldeadas mediante soplado. La Agencia de Protección del Medio Ambiente (EPA por sus siglas en inglés) y los productores de resina han proporcionado fondos para investigar acerca de la selección; la empresa National Recovery Technologies ha empleado procesos electromagnéticos para detectar cloro en los plásticos, y el Centro para la Investigación del Reciclaje de Plásticos ha utilizado técnicas de radiación, pero ningún proceso, de momento, es rentable para su explotación a escala real ^[32].



Polietileno de baja densidad (LDPE)

De este plástico se constituyen las bolsas (Fig. 2.4). Para su reciclado, las bolsas se seleccionan manualmente para separar contaminantes, se procesan mediante molienda, lavado y peletización. El mayor problema es que la tintas de impresión en las bolsas originales producen un regranulado de color oscuro; la solución ha sido la utilización de colorantes oscuros (como en las bolsas de recortes de césped y de basura) o la impresión sobre el color mezclado. Otros usos son los protectores de plástico utilizados para los camiones, donde las cuerdas y cables tocan el cargamento, y productos de plásticos mezclados (HDPE, LDPE y PP) ^[32].



Fig. 2.4 Bolsas elaboradas con LDPE reciclado



Polipropileno (PP)

La mayor parte del polipropileno reciclado se deja en scraps mezclados, utilizados solamente para productos con bajas especificaciones como tabla de plástico, muebles de jardín, cajas, pilotes, postes y vallas ^[32]. También se utiliza para elaborar pitas de rafia, baldes y conos ^[15]. Los procesadores de baterías ácidas de plomo también recuperan polipropileno para usarlo en nuevas baterías. En los Estados Unidos se recicla el 45% del PP de las baterías post-consumo para la fabricación de nuevas baterías ^[12]. Ver fig. 2.5.



Fig. 2.5 Caja elaborada con PP reciclado

También puede ser usado como combustible para producir energía eléctrica y calor, ya que tiene un poder calorífico de 45.9 MJ/kg, ligeramente menor al polietileno ^[31].



Poliestireno (PS)

Las mejoras tecnológicas en la fabricación de la resina, sumadas a la utilización de diseños innovadores de los productos permiten que los envases de alimentos hayan tenido una considerable disminución de peso. Por ejemplo, un envase de poliestireno para 125 g de yogur pesaba, en 1978, 6,5 g y en la actualidad pesa 3,5 g ^[13]

Los diferentes tipos de envases o contenedores de comida de PS pueden recuperarse separadamente o juntos. El PS reciclado se utiliza para fabricar tabla de espuma aislante de cimentación, accesorios de oficina, bandejas para servir comida, recipientes de basura, aislamiento, macetas, hueveras y productos moldeados por inyección ^[32]. Así también es utilizado para la producción de tacos para calzado, juguetes, pegamento y botones ^[15]. Ver fig. 2.6.



Fig. 2.6 Artículos elaborados con PS reciclado

Por medio de la termólisis se recuperan los monómeros de partida ^[17].

Otra alternativa es la utilización del poliestireno como fuente de energía y calor, ya que cuenta con un poder calorífico de 41.2 MJ/kg ^[31].



Otros (plásticos mezclados y multilaminados)

En este rubro se incluyen una enorme variedad de plásticos tales como: policarbonato (PC); poliamida (PA); ABS; SAN; EVA; poliuretano (PU); PMMA, etc., utilizados en los electrodomésticos, aparatos telefónicos, revestimientos diversos. Se puede desarrollar un tipo de plástico para cada aplicación específica.

Muchas veces, se utilizan flujos mezclados de plásticos usados (especialmente polietileno y polipropileno) para producir resinas para los fabricantes de productos grandes que no requieren especificaciones estrictas de resinas, tales como bancos de jardín, mesas, defensas para coches, postes para vallas, vigas, paletas y estacas. Como los plásticos no están seleccionados, los procesadores pueden obtener su alimentación a un bajo coste. El PET se mantiene fuera porque se funde a temperaturas más altas que las otras resinas y forma inclusiones en el producto final ^[32].

A través de la gasificación se puede obtener gas de síntesis a partir de mezclas de plásticos, incluso con otros tipos de residuos ^[17].

Otros plásticos pueden ser reciclados químicamente mediante los procesos antes mencionados; como por ejemplo ^[17]:

Los policarbonatos se reciclan por hidrólisis con hidróxido sódico acuoso permitiendo recuperar el bisfenol. Los poliuretanos mediante degradación química por etilenglicol o por agua producen polioles y diaminas.

De manera similar, la hidrólisis de poliamidas conduce a e-caprolactama a partir de nilón-6, o ácido adípico y hexametildiamina cuando la poliamida es el nilón-6,6.

2.5 RECICLADO MECÁNICO

El reciclado mecánico consiste en el tratamiento de los residuos plásticos por medio de la presión y el calor para volver a darles forma y conseguir otros objetos iguales o distintos de los iniciales. Por ello sólo se aplica a los termoplásticos, ya que estos materiales son reciclables por naturaleza.

2.5.1 Proceso del reciclado mecánico

Aunque el proceso de reciclado (fusión y solidificación) puede repetirse varias veces, cada vez que se lleva a cabo, el plástico tiende a perder entre el 5 y 10% de sus propiedades mecánicas, tales como elongación, tenacidad y resistencia al impacto. Por esta razón, deben restituirse estas propiedades con ayuda de aditivos, como modificadores de impacto, estabilizadores al calor, absorbentes de luz ultravioleta y cargas ^[13].

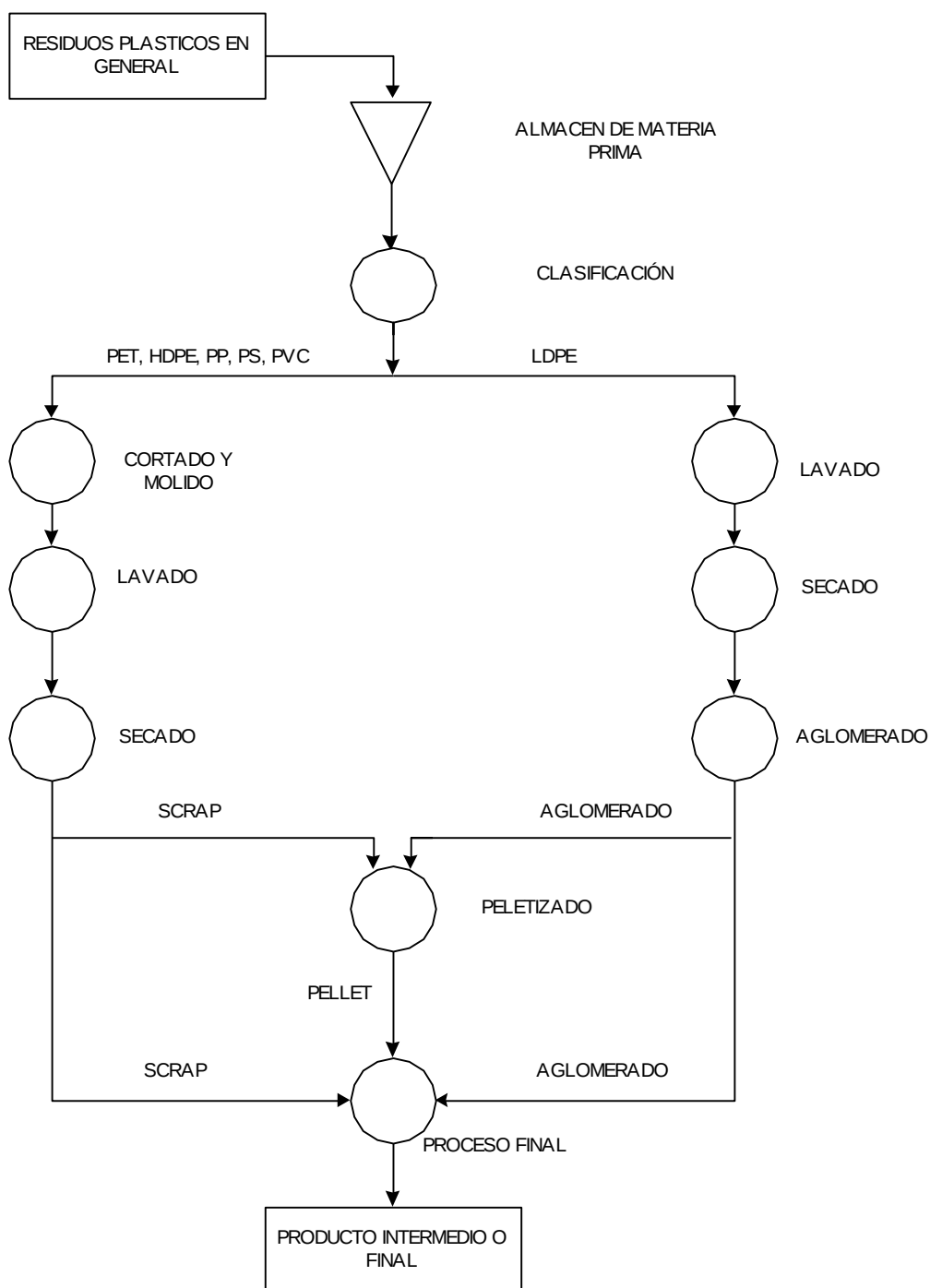
El proceso de reciclado más eficiente involucra la separación de los materiales de acuerdo al tipo de resina, en razón de que la mayoría son termodinámicamente incompatibles entre sí.

Las diferentes etapas del proceso pueden variar según la tecnología que se use. La mayoría de los equipos son similares a los empleados normalmente en la manufactura de plásticos a partir de materia prima virgen.

Las etapas que se describen a continuación son típicas de una empresa recicladora de plásticos en el Perú. ^[15] En la Fig. 2.7 se presenta un diagrama de flujo del proceso de reciclado.

1. Clasificación de los residuos plásticos
2. Cortado y molido del plástico en pequeños trozos (scraps).
3. Lavado mecánico.
4. Secado.
5. Aglomerado (generalmente se aplica a bolsas de LDPE).
6. Peletizado.
7. Procesado final (extrusión, inyección, soplado, etc).

Fig. 2.7 Diagrama de flujo del proceso de reciclaje de plásticos.



2.5.1.1 Clasificación

El reciclado mecánico se inicia con la clasificación de los residuos. Debido a la incompatibilidad de los plásticos y su dificultad para separarlos, esta etapa del proceso es fundamental. Se han desarrollado técnicas avanzadas para mejorar la clasificación ya que de ello depende la calidad del producto final. Por ejemplo: pequeñas cantidades de PVC reducen de manera muy significativa el valor comercial del PET ^[32].

La presencia de plásticos coloreados puede significar otra dificultad, aún tratándose de plásticos de la misma resina.

El proceso de clasificación puede llevarse a cabo en forma manual o mecanizado ^[15].

1.1

1.2 Manual

1.3

1.4 Los recicladores, gracias a la experiencia del trabajo, han adquirido una gran habilidad para seleccionar y clasificar los residuos plásticos aunque desconocen la codificación internacional. Es indispensable contar con los implementos adecuados para protegerse de las sustancias tóxicas a las que se exponen.

1.5

1.6 Mecanizado

1.7

1.8 Existen en países industrializados, procesos para clasificar los residuos automáticamente, mediante bandas transportadoras y dispositivos con sensores térmicos, espectroscopios infrarrojos, entre otros. La técnica basada en espectroscopia IR (infrarrojos), es muy efectiva y ha alcanzado escala comercial. Un analizador identifica la naturaleza de la resina por medio de la luz IR reflejada en el material y transmite la orden para la retirada mecánica o neumática del objeto al contenedor correspondiente.

La clasificación se realiza de acuerdo a ciertas consideraciones necesarias para un adecuado procesamiento, las mismas que permitirán obtener productos de mejor aceptación en el mercado.

Por el tipo de polímero^[15]

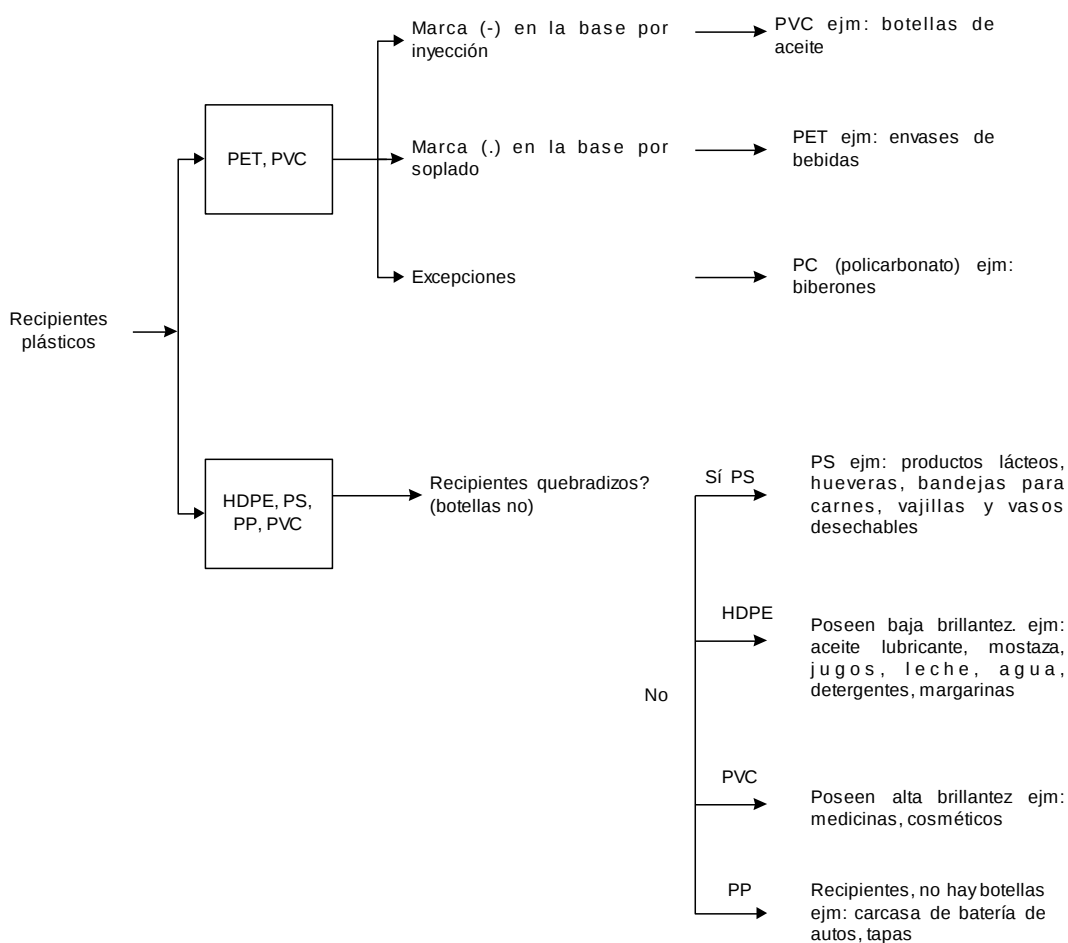
De acuerdo a la clasificación de la Sociedad de Industria del Plástico (SPI). (ver tabla 2.1).

Por el proceso de manufactura^[15]

Consiste en separar los residuos plásticos por el proceso mediante el cual han sido elaborados, soplado o inyección (generalmente serán los de polietileno y polipropileno). Cada proceso le da ciertas características al material y lo que se busca es que el plástico sea reutilizado en el mismo proceso del cual proviene. La identificación es visual.

La Fig. 2.8 muestra la forma en que se puede llevar a cabo la clasificación mediante este proceso propuesto en Costa Rica ^[14].

Fig. 2.8 Proceso de clasificación de plásticos



Por colores

Generalmente se selecciona por tonalidades de colores, por ejemplo, para el caso del rojo, va desde el rosado hasta el rojo oscuro. De no separar los colores los productos reciclados pueden tener colores opacos y oscuros por lo que serán menos cotizados en el mercado.

Además de la clasificación, se realiza una limpieza la cual puede ser manual, previa del material para desprender etiquetas, tapas u otros objetos adheridos al desecho plástico.

Otras formas de reconocimiento comunes utilizadas por los recicladores para la clasificación de los plásticos son ^[15]:

El rasgado

Se realiza normalmente con la uña de la mano, permite reconocer a los plásticos por la dificultad y la profundidad de la marca dejada. Por ejemplo el PS al ser rasgado no se marca como el PVC o el PP.

El doblado

Mediante este proceso se analiza y distingue la flexibilidad y el efecto que queda en el material luego de someterlo a una fuerza deformadora. Por ejemplo: el polietileno (de alta o baja densidad) es reconocido por su flexibilidad; cuando es sometido a una presión se deforma volviendo a su estado inicial sin resquebrajaduras. El polipropileno sufre resquebrajaduras cuando es sometido a una fuerza deformadora, volviendo a su estado inicial cuando cesa la fuerza. El poliestireno es reconocido por ser quebradizo.

La transparencia

Permite diferenciar el PVC, el polipropileno, el acetato de celulosa (CA), el polietileno tereftalato (PET), que son transparentes de otros que no lo son.

El calentamiento

Para diferenciar los termoplásticos de los termoestables se calienta un alambre; cuando éste está al rojo vivo, se pone en contacto con el plástico. Si el alambre atraviesa el plástico, entonces se trata de un termoplástico; de lo contrario es un termoestable.

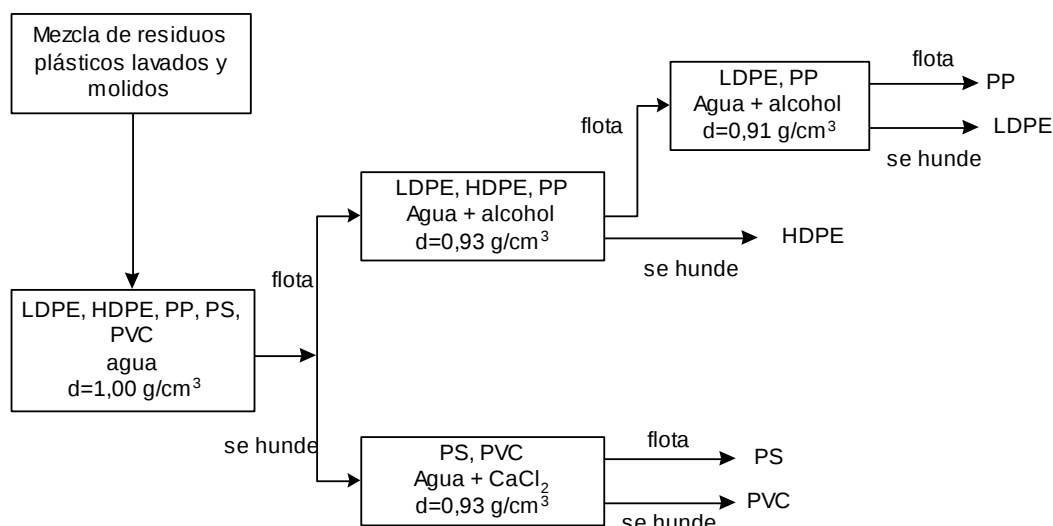
La flotación

Esta técnica permite diferenciar los tipos de plásticos según su densidad. Se emplean varios líquidos de flotación con densidades, ajustadas mediante sales o alcoholes, intermedias entre diferentes clases de plásticos. Los plásticos que tengan la densidad igual o menor que la solución flotarán, mientras que los restantes se hundirán. La técnica puede valerse también de la adición de agentes humectantes y burbujeo de un gas o de la adición de disolventes que se adhieren selectivamente al PVC. Si la mezcla no se separa fácilmente, quizás se necesiten una serie de hidrociclones (separadores ciclón o centrífugos) para los flujos pesados y ligeros con el proceso ajustado según la mezcla de botellas ^[17]. Ver fig. 2.9.

Un ejemplo típico es la botella de gaseosa (PET) y su tapa (PP); en la industria de fabricación de fibras sintéticas sólo se utiliza el PET, durante el proceso de molido, las botellas van al molino con sus tapas y es en el proceso de flotación donde se separan ambos tipos de plásticos.

Otra línea de mejora de las diferencias de densidad consiste en la introducción de la centrifugación en lugar de la flotación. Otra técnica emplea disolventes y variación de temperaturas; al parecer por disolución fraccionada con xileno se pueden separar mezclas de poliestireno (temperatura ambiente), polietileno de baja densidad (75°C), polietileno de alta densidad (105°C), PVC (138°C) y PET (insoluble) ^[17].

Fig. 2.9 Esquema Teórico del Método Hunde – Flota para separar mezclas de residuos plásticos^[16]



Por ignición

Permite distinguir el tipo de plástico según el color de la llama y por el olor que desprende al arder.

Todos los procesos anteriores son característicos de las micro y pequeñas empresas de países en desarrollo.

Se usan estas técnicas porque muchas veces se desconoce la codificación de la Sociedad de Industria del Plástico y además en algunos países en desarrollo, como el nuestro, no se exige a los fabricantes que impriman este código.

2.5.1.2 Cortado y molido del plástico en pequeños trozos (scraps)^[15].

Cortado

Los residuos plásticos clasificados son acondicionados para su molienda; este acondicionamiento se realiza reduciéndolos de tamaño de tal manera que faciliten su manipulación en el momento de ser introducidos a la tolva del molino.

El cortado puede ser realizado de dos maneras:

Manualmente usando machetes. La productividad es baja y el riesgo de accidentes alto. También pueden usarse pequeñas cizallas.

Mecánicamente, usando una máquina provista de una banda transportadora y una guillotina que es accionada intermitentemente por un sistema biela manivela, con motor eléctrico generalmente. Otra forma es mediante el uso de sierras de cinta.

Molienda

Los plásticos cortados son reducidos de tamaño en un molino, obteniéndose hojuelas de plástico conocidas como *scraps*, de un tamaño aproximado a un centímetro.

Se introduce el plástico seleccionado y acondicionado en la tolva de alimentación; luego es molido por el corte de tres cuchillas que giran en un eje axial impulsadas por un motor eléctrico y una banda de transmisión y la acción de cuchillas fijas que son las contrapartes de las rotatorias. Se pueden encontrar variaciones.

Cuando el tamaño de las partículas de plástico molidas es de un centímetro o menos caen por gravedad por unos agujeros que se encuentran en la parte inferior, hacia el depósito de *scrap* del molino de plástico.

2.5.1.3 Lavado

En esta etapa se separan algunos residuos (orgánicos, tierra, restos de etiquetas, etc) del plástico molido. El *scrap* es lavado utilizando agua, detergente industrial y soda cáustica en una proporción 50/50. El agua y detergente industrial se usan para eliminar grasas y otros elementos físicos (etiquetas, pegamento, etc). La soda cáustica se usa para desinfectar, eliminando restos orgánicos si existiesen.

Si el material está limpio no es necesario el uso de detergentes y soda cáustica.

Luego es enjuagado con agua fría para retirar los restos de detergente y soda cáustica.

Actualmente se ha desarrollado la tecnología de lavado a fricción mediante la cual el material se lava sólo con agua fría sin necesidad de usar soda cáustica y detergente. La fricción mutua de los *scraps* se realiza debido a la rotación del rotor de la lavadora con sus cuchillas. Esta tecnología trae disminución de costos ya que no es necesario el uso de aditivos.

El lavado es importante porque determina la calidad del *scrap* que resulte lo cual influye en el precio. Puede ser manual o mecánico.

En el Perú el proceso de lavado se realiza después del molido (a excepción de las bolsas de plástico). En otros países se realiza antes y durante la clasificación de los residuos plásticos.

Asimismo, en nuestro país se usa por lo general un recipiente cilíndrico con un pequeño motor para accionar unas paletas que agitan el agua a baja velocidad y favorecen el proceso de lavado; esto hace más productivo el proceso.

El agua empleada en esta etapa es recomendable que sea tratada y reutilizada.

2.5.1.4 Secado

Una vez limpio, el *scrap* es secado con el objeto de retirarle los restos de humedad. Esta labor se realiza generalmente utilizando un secador rotatorio de aire caliente generado por un quemador de gas propano o kerosene. La humedad final recomendada es 0,5%.

Los secadores que por lo común se usan en las empresas de plástico tienen una capacidad de procesamiento entre 100 y 150 kilogramos por hora.

Otras técnicas utilizan primero un escurridor centrífugo para separar el agua y se procede a secar los *scraps* con aire caliente para reducir el contenido de humedad hasta aproximadamente 0,5%.

Otra alternativa empleada principalmente en los meses de verano es secar el material exponiéndolo al sol.

2.5.1.5 Aglomerado

Mediante este proceso se incrementa la densidad del material a reciclar (se aplica a las bolsas de LDPE).

La materia prima previamente cortada y secada, es introducida en la máquina. Ésta, de forma cilíndrica, tiene cuchillas fijas en los lados y giratorias en el centro. El calor generado por la fricción de estas cuchillas eleva la temperatura del proceso y determina el incremento de la densidad del material por el encogimiento y parcial plastificación. Así, la temperatura a la que llega el proceso es a la de semiplastificación (70 – 90 °C).

El material es enfriado generalmente con agua solidificándose y tomando formas irregulares. El producto final es conocido como aglomerado.

Este aglomerado pasa a la etapa de peletizado.

2.5.1.6 Peletizado

Es el proceso por el que se obtienen los *pellets* mediante una operación de extrusión.

Se fluidiza el *scrap* o aglomerado utilizando un tornillo de extrusión, que en términos simplificados es un tornillo sinfín dentro de un cilindro largo. Los *scraps* o el aglomerado se colocan en la extrusora en el extremo del tornillo con el diámetro más grande y se comprimen mientras se lleva hacia la boquilla de extrusión. Previamente y de ser necesario se añaden los aditivos. El calor combinado de la fricción producida por el flujo y de las bandas de calefacción suplementarias provoca la fundición de la resina, extrayéndose de la mezcla los contaminantes volátiles. Inmediatamente antes de la boquilla, la mezcla fundida pasa a través de una malla fina que separa las impurezas sólidas restantes; este paso se conoce como filtración de fundido.

La temperatura debe ser constante en cada tramo del extrusor, para lo cual se calienta con una resistencia eléctrica y se mantiene la temperatura necesaria con un sistema de refrigeración (serpentín de agua o aire).

El plástico homogeneizado pasa a través de una malla metálica para retener cualquier impureza o elemento extraño. A continuación, el plástico líquido pasa por un molde con orificios que ocasiona la salida de “fideos” de plástico. Este material se solidifica por la temperatura ambiente. Para enfriarlo más se le hace pasar por una tina con agua y luego, mediante unos rodillos, estos “fideos” son transportados hacia una cortadora donde se obtienen los *pellets* con una longitud de entre 8 a 10 mm.

Otra forma de obtener los *pellets* es cortar los “fideos” en segmentos cortos, con una cuchilla giratoria mientras pasa a través de los orificios del molde, y dejarlos caer en una tina de agua, donde se enfrían.

Los *pellets* se secan en un secador centrífugo hasta alcanzar un contenido de humedad de 0,5%; luego son pesados, envasados y almacenados para su transporte hasta el cliente.

2.5.1.7 Procesos de moldeo

El material plástico reciclado (*pellets*, *scraps*, o aglomerado) puede ser procesado directamente y obtener productos con menores especificaciones que las fabricadas con plástico virgen. Con la formulación adecuada, puede procesarse junto con resina virgen; esto permite una disminución en los costos de producción. También puede coextruirse entre material virgen, por ejemplo en la fabricación de botellas donde la capa intermedia es de material reciclado y, tanto la capa interna como la externa son de material virgen.

Durante el proceso de extrusión pueden usarse aditivos para cambiar el índice de fusión o el color. Los procesadores y fabricantes intentan minimizar la “historia calorífica” (una medida del número de veces que se ha fundido la resina o se ha llegado a la temperatura máxima) porque cada calentamiento degrada la resina.

Existen varias técnicas para conformar los polímeros. En su mayoría son utilizadas para aquéllos de naturaleza termoplástica. El termoplástico es calentado a una temperatura cercana o superior a la temperatura de fusión, de tal manera que se haga plástico o líquido. Entonces es vaciado o inyectado en un molde para producir la forma deseada ^[2].

Entre las técnicas más comunes tenemos las que a continuación se describen ^[2].

Moldeo por inyección

La resina plástica en forma de *pellets*, *scraps*, aglomerado es empujado por un tornillo sinfín a través de una cámara de calentamiento, la resina se ablanda fluidificándose y homogeneizándose.

A través de la boquilla situada al final de la cámara, el plástico fluido se inyecta a presión en un molde enfriado; al pasar por el molde, el material se solidifica rápidamente y es

expulsado de manera automática o retirada a mano. Luego el molde queda listo para otra descarga de plástico líquido.

Una amplia variedad de productos, como vasos, peines, engranes, botes de basura y otros envases se pueden producir de esta manera.

Moldeo por soplado

Este método fue ideado para resolver el problema de la fabricación de objetos con forma de botella.

Se usan *pellets*, *scraps*, aglomerado que se adicionan a la tolva de alimentación de la máquina. Utiliza un extrusor y empuja el plástico líquido en forma de tubo (conocida como preforma).

Luego, la preforma, fabricada mediante un proceso de inyección, va entre un par de moldes emparejados y calentados; éstos se cierran y mediante una corriente de aire comprimido, se infla la preforma para que adopte la forma del molde.

La forma así obtenida se enfría en el molde y es expulsada.

Este proceso es utilizado para producir botellas de plástico, recipientes, tanques para combustible automotriz y otras formas huecas.

Extrusión

Un mecanismo de tornillo, similar a los mencionados anteriormente, empuja el termoplástico caliente a través de una boquilla abierta que produce formas continuas como películas, barras, tubos, perfiles y filamentos. También se usa para recubrir alambres con termoplásticos. Se suele emplear el objeto extruido introduciéndolo en un baño de temple, o se coloca en una faja transportadora, lo que permite su enfriamiento por aire.

La diferencia entre el moldeo por inyección y la extrusión es que en este último proceso, se hace pasar el plástico fluido por un molde que tiene la forma del objeto deseado.

Termoformado

Las hojas de polímero termoplástico que son calentadas hasta llegar a la región plástica se pueden conformar sobre un molde para producir diversos productos, tales como empaques para huevos y paneles decorativos. El conformado se puede efectuar utilizando moldes a vacío y aire a presión.

Calandrado

En una calandra se vierte plástico fundido en un juego de rodillos con una pequeña separación. Los rodillos, que pudieran estar grabados con algún dibujo, presionan el

material y forman una hoja delgada de polímero, a menudo cloruro de polivinilo. Productos típicos de este método incluyen losetas de vinilo para piso y cortinas para baños.

Hilado

Se pueden producir filamentos, fibras e hilos mediante este método. El termoplástico fundido se empuja a través de un molde que contiene muchas perforaciones pequeñas. El molde conocido como hilador puede girar y producir un hilado.

Espumas

Se pueden producir productos de poliestireno, poliuretano, polimetilmetacrilato y otros polímeros que finalmente tengan espacios huecos.

El polímero se produce en pequeñas bolitas que frecuentemente contienen un agente espumante, que al ser calentado se descompondrá generando nitrógeno, bióxido de carbono, pentano o algún otro gas. Durante este proceso de preexpansión, las bolitas aumentan de diámetro tanto como 50 veces y se hacen huecas. A continuación las bolitas preexpandidas se inyectan dentro de un dado para fundirlas y unir las a fin de formar productos excepcionalmente ligeros, con densidades de sólo 0.02 g/cm^3 . Los vasos, empaques y aislamientos de poliestireno expandido (incluyendo tecnopor), son algunas de las aplicaciones para las espumas.

2.5.2. Ejemplo de una planta típica de reciclado de botellas PET y HDPE ^[32]

Una planta donde las botellas PET y de HDPE se transforman en *scraps* limpios tiene los siguientes procesos.

Las botellas provienen de los segregadores y contenidas en grandes bolsas llamadas balas.

2.5.2.1. Rotura de balas y selección

Las balas preseleccionadas se rompen y se depositan en una cinta transportadora para su selección final; se seleccionan las botellas PET manualmente según su color y se separan los plásticos no deseados.

2.5.2.2. Molienda y lavado

Las botellas se transforman en *scraps* con un molino diseñado para cortar *scraps* limpios sin causar excesivo calor, puesto que lo fundiría. Los *scraps* se lavan con agua caliente, detergentes y por agitación, para separar etiquetas, adhesivos y suciedad; se utiliza un separador centrífugo para separar los *scraps* del agua sucia, papel y restos.

2.5.2.3. Separación

Después de lavar los *scraps*, éstos se dirigen al depósito de flotación, donde el PET se hunde en el fondo y flotan los plásticos más ligeros, como HDPE. Si la alimentación es casi homogénea, puede ser suficiente un sólo depósito; si la mezcla no se separa

fácilmente, quizás se necesite una serie de hidrociclones (separadores ciclón o centrífugos) para los flujos pesados y ligeros con el proceso ajustado según la mezcla de botellas.

2.5.2.4. Secado

Después de la separación, el flujo se ha convertido en un flujo de PET y/o un flujo de HDPE. Se utiliza un secador centrífugo para separar el agua y se procede a secar los *scraps* con aire caliente para reducir el contenido de humedad hasta aproximadamente 0,5%.

2.5.2.5. Clasificación por aire

Las fábricas que granulan botellas de yogurt (u otros productos HDPE con tapas o etiquetas de polipropileno) utilizan un paso de clasificación por aire entre el secado centrífugo y el secado por aire forzado para separar las piezas ligeras de polipropileno.

2.5.2.6. Separación electrostática

Las botellas a veces contienen tapas de aluminio cuando se empaacan, y el aluminio granulado aparece en los *scraps* de PET. Después del secado, se utiliza la separación electrostática para separar el aluminio.

El PET limpio se vende en forma de *scraps*, pero la mayoría del HDPE se peletiza. La resina peletizada está libre de polvo y fluye fácilmente, y el proceso de fundición y cribación mejora la homogeneidad y la pureza.

2.5.2.7. Peletización

Se realiza del mismo modo descrito en 2.5.1.6

2.6 RECICLAJE QUÍMICO DE LOS PLÁSTICOS ^[17].

Como una alternativa al reciclaje mecánico 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 mecánico. Además, permite utilizar el 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.

También conocido como reciclaje terciario, consiste en la descomposición química del polímero por diversos métodos; adecuados en función de la naturaleza del polímero, para llegar a los monómeros de partida o mezclas de hidrocarburos que son empleados como fuentes de productos químicos o como combustibles. En este reciclado pueden incluirse también las gomas y elastómeros.

2.6.1 Métodos de reciclaje químico

Los principales métodos se describen a continuación:

2.6.1.1. Despolimerización química

Es empleada industrialmente para el reciclado de poliésteres, poliacetales, poliamidas, y poliuretanos, con recuperación de monómeros crudos que, tras purificación, pueden emplearse de nuevo para la preparación de resinas vírgenes. Los polímeros son fragmentados en sus monómeros por los reactivos nucleófilos que habitualmente participan en las conversiones químicas dentro de la familia de los ácidos carboxílicos: agua, metanol, etilenglicol, amoníaco, aminas. El progreso de la reacción se consigue por activación térmica o por catálisis ácida o básica.

Para el PET los mejores procesos se basan en la degradación por etilenglicol o por metanol, en los que se obtienen los correspondientes ésteres dobles del ácido tereftálico que pueden ser empleados directamente, una vez purificados, en la preparación del polímero.

La alcoholólisis ha sido usada también por Sherwin Williams para convertir residuos de PET en poliésteres solubles. Esta alcoholólisis es asistida por un catalizador tal como el Hidróxido de Bario Ba(OH)_2 .

La hidrólisis de policarbonatos con hidróxido sódico acuoso permite recuperar el bisfenol, el diol más común en estos polímeros, junto a carbonato sódico. El método ha sido mejorado recientemente con el empleo del hidróxido en cantidades catalíticas, junto a metanol, con lo que se obtiene el bisfenol sólido y carbonato de metilo en disolución.

La degradación química de los poliuretanos por etilenglicol o por agua produce polioles y diaminas. Los primeros pueden ser empleados en polimerización por reacción con isocianatos, mientras que las diaminas pueden ser convertidas en isocianatos por reacción con fosgeno.

2.6.1.2. Gasificación

Consiste en un tratamiento con oxígeno, aire, vapor de agua o mezclas de estos agentes, que conduce de manera efectiva a la formación de gas de síntesis. Puede ser empleado en la preparación de metanol, amoníaco y de otros compuestos. La principal ventaja de la gasificación consiste en la posibilidad de tratar mezclas complejas de material plástico sin previa separación. Es frecuente que los plásticos se traten de esta manera junto a otros residuos sólidos. Sin embargo, resulta preciso purificar y reajustar el gas obtenido para que realmente pueda ser utilizado como un gas de síntesis de calidad. Como limitación se suele citar la necesidad de un volumen muy elevado de producción y es precisa además la proximidad a las plantas que vayan a utilizar este gas de síntesis.

2.6.1.3. La fragmentación térmica o termólisis

Se produce por calefacción del polímero, plástico o elastómero, en una atmósfera inerte. La termólisis es de tipo radicalario y en unos polímeros concretos, como el PS y el PMMA es factible recuperar los monómeros. Con otros polímeros la fragmentación se hace caótica y se obtienen mezclas complejas de hidrocarburos. En función de la ramificación de la resina varían las condiciones de temperatura necesarias y, en función de éstas, se producen volúmenes variables de fracciones de gases, aceites, ceras, y de residuo sólido. La degradación térmica del PVC se inicia siempre por la emisión de HCl formando una poliolefina que se descompone posteriormente. Se comprende así que la presencia de PVC en la mezcla de partida afecte la termólisis de todos los demás polímeros. Trabajando por encima de los 600°C y con tiempos cortos de residencia se consiguen buenos rendimientos en olefinas: etileno y propileno. A 500 °C hidrocarburos lineales saturados junto a alfa-olefinas, con un contenido bajo de aromáticos.

La termólisis de caucho vulcanizado, fundamentalmente llantas usadas, permite obtener un alquitrán con un elevado contenido de azufre, junto a gases que contienen hidrógeno, monóxido y dióxido de carbono, metano y etano, que puede ser útil como combustible, y de un aceite fundamentalmente aromático.

2.6.1.4. Craqueo catalítico

Presenta bastantes ventajas sobre la termólisis de los plásticos y elastómeros. Por un lado las temperaturas pueden ser inferiores; por otro, la elección de catalizador permite dirigir mejor la conversión. El empleo de catalizadores fuertemente ácidos en un lecho fluido ha permitido la obtención de una fracción de olefinas C3 y C4 en un 70% de rendimiento. Además, en los líquidos la fracción de gasolina está integrada principalmente por hidrocarburos saturados ramificados, frente a los lineales saturados y alfa olefinas de la termólisis.

Sin embargo, el craqueo está limitado a los polímeros poliolefínicos, ya que la presencia de cloro o de nitrógeno en las moléculas provoca envenenamiento de los catalizadores. También resultan muy perjudiciales los rellenos.

Las limitaciones actuales para el reciclado químico son más de tipo económico que técnico. Existen tres factores que determinan la rentabilidad de estas alternativas: el grado de separación requerido en los residuos de partida, el valor de los productos obtenidos y los requisitos de inversión de las instalaciones necesarias. Los pasos previos de separación implican un incremento en el costo. Las exigencias de separación previa, según los procesos anteriores, presentan el siguiente orden: gasificación, tratamientos térmicos e hidrogenación, craqueo catalítico y finalmente despolimerización química.

Muchos proyectos de reciclado han fracasado por el bajo precio de los productos obtenidos. En términos generales el valor comercial de los productos en los diferentes tratamientos puede presentar el orden siguiente: aceites térmicos y gas de síntesis, aceites de hidrogenación y aceites catalíticos, monómeros. Como puede verse el valor comercial y los tratamientos previos siguen órdenes inversos. Además hay que tener en cuenta la

existencia de instalaciones previas adecuadas, el volumen mínimo, inversiones, localización, etc. Se ha apuntado que las plantas de hidrogenación requieren inversiones muy elevadas, que la gasificación requiere volúmenes continuos muy grandes (400 000 a 500 000 toneladas anuales), y que tanto la pirolisis como la hidrogenación conducen a productos que posteriormente deben pasar a unidades de refinería.

Parece que las industrias petroquímicas serían las mejoras dotadas para incorporar algunas de estas formas de reciclado. Parece que podría incluso introducirse el material plástico en las corrientes de los procesos de tratamiento de los crudos petrolíferos o de sus fracciones. Sin embargo, sería necesario un tratamiento previo para eliminar eficazmente elementos como el nitrógeno, cloro o los metales pesados presentes en los plásticos. Además, el transporte del material plástico, ya seleccionado debería presentar un bajo coste.

2.6.2 Ejemplo de reciclaje químico en el Perú: Concreto polimérico a partir de PET ^[18]

Aunque en el Perú no se cuenta con una industria petroquímica se han desarrollado algunos proyectos como por ejemplo el desarrollado en la Pontificia Universidad Católica del Perú donde se recicla químicamente el PET para fabricar el llamado “Cemento Polimérico”.

Se descompone químicamente el PET, es decir, se rompe 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**.

Las etapas del proceso ensayadas a nivel de laboratorio fueron las siguientes:

2.6.2.1. Despolimerización del PET

El PET, previamente cortado en trozos de aprox. 1 cm² y calentado a 100 °C durante 3 horas, se hace reaccionar con etilenglicol (8 mL de etilenglicol por cada gramo de PET) en un balón acoplado a un reflujo bajo atmósfera inerte, en presencia de un catalizador. El producto de la reacción se deja enfriar y se filtra y lava con agua destilada. El producto, bis (hidroxietilen) tereftalato (BHET), se recrystaliza en agua caliente.

2.6.2.2. Polimerización del poliéster insaturado

En un balón acoplado a un destilador se hace 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.

2.6.2.3. Elaboración del concreto polimérico

El poliéster insaturado se mezcla 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 añade octoato de cobalto y peróxido de metil etil cetona para producir el entrecruzamiento. El concreto se deja reaccionar a temperatura ambiente (o mayores temperaturas si se desea acelerar el proceso).

2.7 PROPIEDADES DE LOS PLASTICOS RECICLADOS ^[19]

Un estudio realizado en Argentina demuestra los cambios en las propiedades de los materiales plásticos después de ser reciclados. El uso de los productos plásticos fabricados a partir del reciclado mecánico de los residuos plásticos presenta algunas limitaciones técnicas que habrá que tener en cuenta. Su omisión puede conducir a resultados inaceptables. Por tal motivo es necesario realizar una comparación de las propiedades de la resina virgen y la obtenida después de someter a cambios físicos para llegar a un nuevo producto.

Las propiedades estudiadas fueron la densidad y el índice de fluencia (MFI) y de acuerdo a su comportamiento se ha analizado la influencia sobre otras propiedades importantes del material.

Los resultados que se muestran en la tabla 2.3 y 2.4 fueron obtenidos siguiendo las normas ASTM: D 792-66 para la determinación de la densidad de polímeros y para determinar el índice de fluencia la norma ASTM Designación: D1238-82.

Tabla 2.3 Datos de densidad de algunos tipos de plásticos

Polímero	Densidad promedio del material virgen (g/cm ³)	Densidad promedio del material procesado (g/cm ³)	Densidad promedio del material reprocesado (g/cm ³)
LDPE	0.923	0.913	0.906
LLDPE	0.926	0.917	0.913
HDPE	0.954	0.951	0.937
PP	0.904	0.884	0.875

Para determinar el índice de fluencia (MFI) se sometió al PP y PE a temperaturas de 200 °C y 250 °C respectivamente y una presión de 2.5 kg/cm². Ver tabla 2.4.

Tabla 2.4 Datos de índice de fluencia de algunos tipos de plásticos

Polímero	MFI del material virgen (g/10 min)	MFI del material procesado (g/10 min)	MFI del material reprocesado (g/10 min)
LDPE	0.96	1.00	1.03
LLDPE	12.00	12.36	12.70
HDPE	0.13	0.231	0.239
PP	1.80	2.04	2.27

De los resultados obtenidos se puede observar una disminución promedio de la densidad de 1.67% para los polietilenos y 3.37% para los polipropilenos; lo que hace notar que la degradación sufrida por el PP es mayor que para el PE. La disminución promedio de la densidad para los PE reciclados es de 1.3% después de ser sometidos a una transformación. Se puede decir que cada vez que se somete al polímero a temperatura y presión, la densidad sufre una disminución entre 1.3% y 1.5%.

En las medidas del MFI existe un incremento promedio de 3% en los polietilenos y de 11% para los polipropilenos, lo que implica una disminución de la viscosidad del material reprocesado con respecto al material procesado.

A pesar de que la calidad del polímero disminuye después de ser sometido al proceso de reciclado, es posible utilizarlo con buenos resultados en transformaciones, tal vez de tipo diferente al que fue sometido originalmente. Por ejemplo: un índice de fluencia bajo indica viscosidad elevada, ideal para la extrusión, en cambio un índice de fluencia alto es adecuado para la inyección. Esta propiedad es muy importante a la hora de elegir el proceso de transformación.

Las propiedades estudiadas influyen en otras propiedades importantes del material según se muestra en la tabla 2.5.

Tabla 2.5 Influencia de la densidad y el índice de fluencia en otras propiedades de los plásticos reciclados

PROPIEDAD	DISMINUCION DE LA DENSIDAD	AUMENTO DEL MFI
Elongación a la rotura	Disminuye mucho	Disminuye
Modulo E	Disminuye mucho	Disminuye
Dureza	Disminuye	Disminuye poco
Temperatura de fusión	Disminuye	Casi no cambia
Temperatura máxima de uso	Disminuye	Disminuye poco
Temperatura de fragilización	Aumenta	Aumenta
Resistencia al impacto	Disminuye	Disminuye mucho
Hinchamiento	Aumenta mucho	Aumenta poco
Permeabilidad	Aumenta	Aumenta
Tensofisuración	Disminuye	Aumenta
Transparencia	Aumenta	No cambia
Fluidez	Aumenta poco	Aumenta mucho

Los usos posteriores para los materiales reciclados se deben basar en las nuevas propiedades que adquiere el polímero una vez transformado.

Otra alternativa, que ya se aplica en la industria para el uso de estos materiales, es combinarlos con los materiales vírgenes, para aumentar la compatibilidad o compensar otras deficiencias.

2.8 REALIDAD DEL RECICLAJE DE PLÁSTICOS EN EL PERÚ

En el Perú, esta actividad se realiza hace muchos años con productos recuperados de los rellenos sanitarios y botaderos clandestinos. La ciudad de Lima es el lugar donde se ha concentrado esta actividad.

2.8.1 Mercado

Durante un estudio de la ONG IPES realizado en abril del 2002 en las ciudades de Lima y Callao, se identificaron 52 empresas dedicadas a la comercialización de residuos plásticos ^[20].

Por otro lado, de las empresas de reciclaje, alrededor de 500 (75%) son pequeñas empresas informales dedicadas al molido de plástico, y sólo el 25% de estas empresas se dedica a elaborar productos finales ^[21]. Existen también ocho medianas empresas que procesan las botellas de aceite tipo PVC.

En el Perú predominan los siguientes tipos de empresas de reciclaje de plásticos:

- ☆ Empresas de molienda.
- ☆ Empresas de aglomerado.
- ☆ Empresas de peletizado.
- ☆ Empresas de moldeo por inyección, soplado y extrusión.

Los tipos de plásticos que se comercializan son:

- Polietileno tereftalato (PET): principalmente envases de bebidas gaseosas.
- Polietileno de alta densidad (HDPE) y de baja densidad (LDPE): bidones, bateas, contenedores industriales, bolsas industriales y de supermercado, etc.
- Policloruro de vinilo (PVC): muebles de jardín, tubos de caños, zapatillas, etc.
- Polipropileno (PP): envases de yogurt y alimentos.
- Poliestireno (PS): envases descartables y otros.

Actualmente los residuos plásticos con mayor demanda en el mercado limeño son los plásticos PET transparente (el color verde no tiene mucha demanda porque su volumen de comercialización es mínimo), los mixtos (PEBD, PEAD y PP), y el PVC.

2.8.2 Importación de residuos plásticos

La tabla 2.8 muestra las importaciones de residuos plásticos en el periodo 2000- 2003. En el año 2002 se importaron 526 129.41 kg de residuos plásticos de los cuales el principal fue el polietileno seguido de los desechos, recortes y desperdicios de PVC.

Durante el año 2003 se importaron 250 838.54 kg de desechos plásticos destacando los desechos de polietileno con 166 589.01 kg.

Los residuos plásticos son importados principalmente de Estados Unidos.

Los aranceles que pagan los residuos plásticos para el ingreso al país son iguales que los que pagan las resinas vírgenes; en la tabla 2.6 se muestran los gravámenes vigentes.

Tabla 2.6 Gravámenes vigentes para el ingreso de residuos plásticos al Perú ^[34]

Gravámenes Vigentes	Valor
Ad Valorem	12.00%
Impuesto General a las ventas (IGV)	17.00%
Impuesto de Promoción Municipal	2.00%
Seguro	1.25%
Total	32.25%

Fuente: Superintendencia Nacional de Administración Tributaria
www.aduanet.gob.pe

La tabla 2.7 muestra las partidas arancelarias de los residuos plásticos que se importan al Perú.

Tabla 2.7 Partidas Arancelarias de los residuos plásticos

Partida Arancelaria	Descripción
3915100000	Desechos, recortes y desperdicios de los polímeros de etileno.
3915200000	Desechos, recortes y desperdicios de los polímeros de estireno.
3915300000	Desechos, recortes y desperdicios de los polímeros de cloruro de vinilo.
3915900000	Desechos, recortes y desperdicios de los demás plásticos (incluye el polipropileno).

Elaboración propia

Fuente: Superintendencia Nacional de Administración Tributaria
www.aduanet.gob.pe

La tabla 2.8 también se muestran los costos unitarios FOB y CIF de cada uno de los residuos importados. En el año 2003 se registró un aumento promedio de 11% en el precio de los residuos importados respecto del año 2002.

Con respecto a la importación de las resinas vírgenes, la importación de desechos representa el 0.12% en peso, es decir una cantidad insignificante. En cuanto a los precios promedio FOB y CIF en el año 2003, los precios de los desechos plásticos representan menos del 50% de los precios FOB y CIF de las resinas vírgenes (37.5% y 47% respectivamente).

Tabla 2.8 Importación de residuos plásticos año 2000 – 2003

AÑO	DESCRIPCION	VALOR FOB US\$	VALOR CIF US\$	PESO NETO (kg)	PRECIO POR kg	
					FOB	CIF
2000	PVC	82 644.11	143 675.15	457 629.40	0.18	0.31
	PS	44.00	51.82	113.39	0.39	0.46
	PP	5 294.13	6 431.08	13 230.00	0.40	0.49
	DEMÁS PLASTICOS	13 516.76	22 420.78	53 515.27	0.25	0.42
TOTAL		101 499.00	172 578.83	524 488.06	0.19	0.33
2001	PVC	35 179.72	65 949.87	234 010.00	0.15	0.28
	DEMÁS PLASTICOS	20 996.91	25 179.94	32 157.64	0.65	0.78
TOTAL		56 176.63	91 129.81	266 167.64	0.21	0.34
2002	PVC	54 781.12	84 889.56	318 700.64	0.17	0.27
	PE	85 770.39	103 452.81	207 415.67	0.41	0.50
	DEMÁS PLASTICOS	76.56	80.99	13.10	5.84	6.18
TOTAL		140 628.07	188 423.36	526 129.41	0.27	0.36
2003	PVC	11 177.94	21 509.36	79 139.28	0.14	0.27
	PE	50 060.52	64 225.15	166 589.01	0.30	0.39
	DEMÁS PLASTICOS	12 969.46	14 995.96	5 110.25	2.54	2.93
TOTAL		74 207.92	101 730.47	250 838.54	0.30	0.40

Elaboración propia

Fuente: Superintendencia Nacional de Administración Tributaria www.aduanet.gob.pe

2.8.3 Exportación de residuos plásticos

Según la tabla 2.9 durante el año 2003 se han exportado 814 699.7 kg de residuos plásticos principalmente residuos de PVC y PET. El precio FOB unitario promedio es de 0.59 dólares/kg, siendo el precio más alto el del PVC y el PET.

Las exportaciones de residuos plásticos se han incrementado en 473% respecto al año 2002. Mientras que en el año 2002 se exportaron 142 210 kg de residuos plásticos; en el año 2003 se han exportado 814 699.70 kg de estos residuos.

Los desechos plásticos son exportados molidos (scraps) y limpios de allí su mayor precio. Con respecto al mercado interno donde en promedio se paga 1.35 nuevos soles/kg (0.39 dólares/kg), en el mercado exterior se paga en promedio 2.06 nuevos soles/kg (0.59 dólares/kg).

En algunos casos se trata de cartuchos vacíos de impresora.

Por conversaciones vía electrónica con un importador de plásticos argentino se tiene conocimiento de precios promedio del *scrap* plástico. El scrap de PET cristalino se paga a 400 dólares por tonelada mientras que el HDPE a 390 dólares por tonelada y el PP color blanco a 400 dólares por tonelada. Los *scraps* provenientes de las botellas de PET, HDPE y PP son los de mayor demanda a nivel internacional.

Los países a los que se exporta los residuos son principalmente los países asiáticos (China, Hong Kong), seguidos por Panamá, Costa Rica, Colombia y Ecuador.

Tabla 2.9 Exportación de residuos plásticos Año 2000 - 2003

AÑO	DESCRIPCION	VALOR FOB US\$	PESO NETO (kg)	PRECIO POR kg
				FOB
2000	PET	13 721.20	52 610.00	0.26
	PVC	5 473.71	6 215.00	0.88
	PC	117 940.00	235 420.00	0.50
	DEMÁS PLÁSTICOS	3 732.75	4 977.00	0.75
TOTAL		140 867.66	299 222.00	0.47
2001	PET	28 672.11	68 000.00	0.42
	PE	49 737.27	94 476.70	0.53
	PC	47 476.00	79 220.00	0.60
	DEMÁS PLÁSTICOS	16 252.40	240.00	67.72
TOTAL*		142 137.78	241 936.70	0.52
2002	PET	20 420.17	88 170.00	0.23
	PC	20 721.40	54 040.00	0.38
TOTAL		41 141.57	142 210.00	0.29
2003	PET	122 797.71	356 966.20	0.34
	PE	2 724.43	4 953.50	0.55
	PVC	255 187.89	222 466.00	1.15
	DEMÁS PLÁSTICOS	100 098.23	230 314.00	0.43
TOTAL		480 808.26	814 699.70	0.59

Elaboración propia

Fuente: Superintendencia Nacional de Administración Tributaria www.aduanet.gob.pe

2.8.4 Volúmenes de comercialización

Los volúmenes mensuales aproximados de residuos plásticos que se comercializan en Lima y Callao se muestran en la tabla 2.10.

Tabla 2.10 Volúmenes de comercialización de residuos plásticos ^[20]

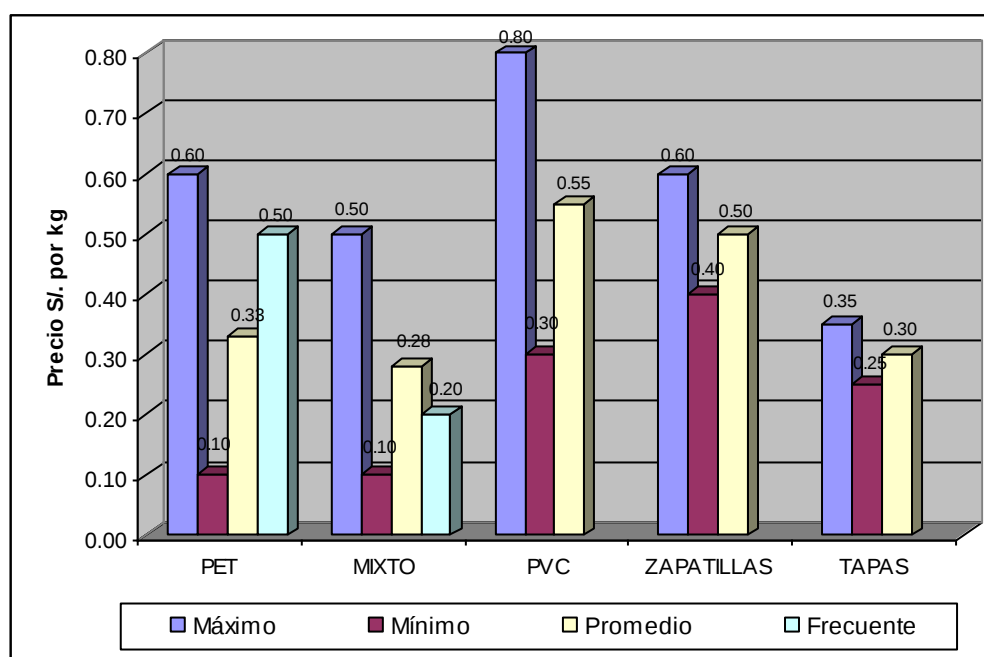
TIPO DE COMERCIALIZADOR	VOLUMEN (t/mes)	
	Mínimo	Máximo
Grande	20	50
Mediano	5	20
Pequeño	0	5
Total	25	75

Mensualmente se comercializan en Lima y Callao 1 000 t de plástico (50 recicladores, cada uno comercializa en promedio 20 t de plástico al mes).

2.8.5 Precios de residuos plásticos

En la fig. 2.10 se muestra la canasta de precios de compra de los diferentes residuos de plástico que se comercializan en Lima y Callao, por parte de los comercializadores.

Fig 2.10 Precios de residuos plásticos en Lima y Callao



Fuente: Mecanismos para el funcionamiento de bolsas de residuos como un aporte a la gestión ambiental. Programa APGEP-SENREM. Convenio USAID-CONAM. Lima, agosto del 2002.

El precio del residuo de plástico PET varía entre S/. 0.10 y 0.60 por kg, con un precio promedio de S/. 0.33 por kg. El precio más frecuente es S/. 0.50 por kg. En el caso del residuo de plástico mixto, éste varía entre S/. 0.10 y 0.50 por kg, siendo el precio de compra promedio de S/. 0.28 por kilogramo.

El PVC y las zapatillas (PVC) tienen un precio de compra promedio de S/. 0.55 y 0.50 por kg respectivamente. Mientras que las tapas de envases (PP) tienen un precio de compra promedio de S/. 0.30 por kg.

2.8.6 Grado de procesamiento del plástico reciclado

Los tipos de plástico reciclado según el grado de procesamiento que se comercializan son:

1. *Scrap*. Ver fig. 2.11.
2. *Pellet* (negro, color, cristalino). Ver fig. 2.12



Fig. 2.11 Scraps de PET

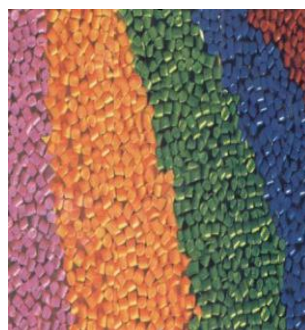


Fig. 2.12 Pellets de plástico

2.8.7 Precios de plástico reciclado

La tabla 2.11 muestra los precios de compra de plástico reciclado industrial ofertados por las empresas en Lima.

Tabla 2.11 Canasta de precios de residuos del plástico reciclado industrial (S/. por kg) ^[20]

Grado de procesamiento	Precio		
	Mínimo	Máximo	Promedio
<i>Scraps</i>	0.90	1.50	1.20
<i>Pellets</i> negro	1.10	1.30	1.20
<i>Pellets</i> color	1.40	1.60	1.50
<i>Pellets</i> cristalino	1.60	1.80	1.70

Los precios varían según el tipo de plástico siendo el de mayor precio el *pellet* cristalino que se obtiene de los residuos plásticos de PET, además es el que tiene más demanda en la industria de plástico porque pueden darle el color que ellos requieran durante su proceso industrial; en cambio el *pellet* de color negro o de color tienen menor precio y se obtienen de los otros tipos de plásticos reciclados (HDPE, LDPE, PP, PVC y otros)

El precio del molido de plástico (*scraps*) varía entre S/. 0.90 y 1.50 por kg; y en el caso de los *pellet* está entre S/. 1.10 y 1.80 por kg.

CAPITULO III

DIAGNÓSTICO DEL RECICLAJE DE PLÁSTICOS EN PIURA

La recuperación de plásticos en la ciudad de Piura se realiza, principalmente, en el botadero municipal, que se encuentra ubicado en el km 8 de la carretera Piura – Chulucanas. Esta recuperación se lleva a cabo por personas agrupadas de manera informal que han instalado sus chozas en los alrededores del botadero municipal. Ver fig. 3.1.



Fig. 3.1 Recuperadores en botadero municipal de Piura



Fig. 3.2 Almacén de plástico cerca al botadero municipal

Luego de ser recuperado, seleccionado entre los de mejor aspecto físico y embalado (ver fig. 3.2), el material plástico es vendido a los comerciantes de los depósitos minoristas vecinos, quienes se encargan de la comercialización a mayoristas de la ciudad de Lima que llegan a comprarles el material a sus depósitos. Éstos a su vez los venden a medianas y grandes fábricas transformadoras en Trujillo y Lima.

Los trabajadores de los camiones compactadores también recuperan material mientras recorren las calles y los venden a los comerciantes de los depósitos minoristas ubicados en las zonas cercanas al botadero municipal.

Las personas que recuperan el material plástico en el botadero municipal, desconocen la codificación dada por la Sociedad de Industrias del Plástico (SPI por sus siglas en inglés) y lo hacen de acuerdo a la experiencia que han adquirido. Tampoco cuentan con implementos adecuados para realizar el trabajo y constantemente ponen en riesgo su salud.

Se pueden identificar hasta cinco depósitos importantes, de los cuales tres se dedican sólo a la compra y venta de residuos plásticos; y los otros dos realizan un proceso posterior, que es la selección y cortado de los residuos plásticos, de esta manera pueden vender a un mejor precio.

La etapa del proceso de reciclado mecánico más avanzada a la que se llega en la ciudad de Piura, es el molido. Hay una microempresa ubicada en el A.A.H.H. Nueva Esperanza, la cual se dedica al molido de plástico que luego es comercializado a la ciudad de Lima.

Asimismo, existe un molino móvil que recorre en un trailer plataforma la costa, brindando el servicio de molienda de plástico.

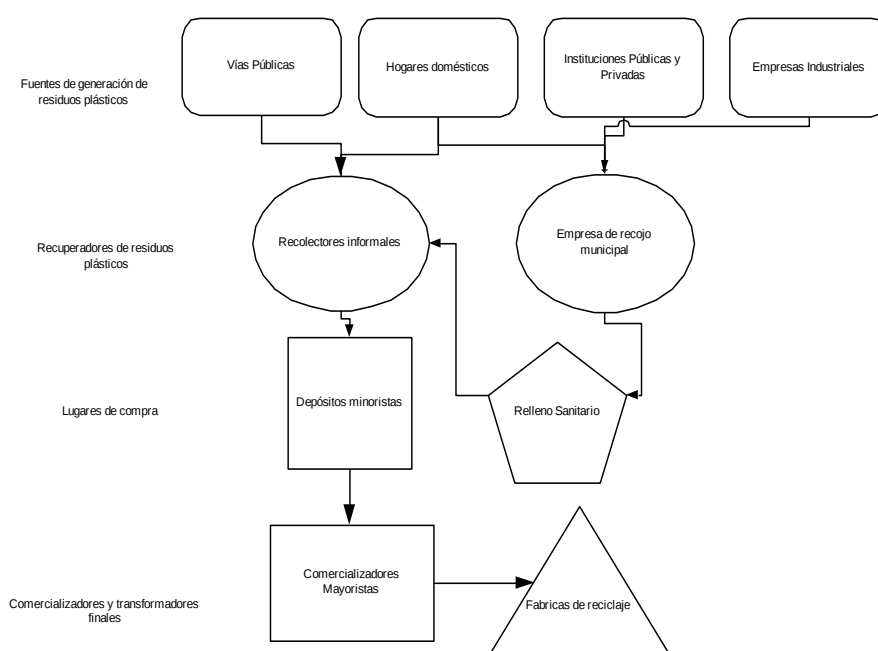
La comunidad Águilas de Emaús, también se dedica a recolectar plástico, el cual es vendido a intermediarios de la ciudad de Lima.

Estos depósitos no sólo se dedican a la recuperación de plástico sino también de otros materiales como papel, cartón y vidrio.

Existen recuperadores que reusan los envases plásticos para envasar thíner, kerosene, gasolina, etc.; así como también para el envasado de productos adulterados.

La fig. 3.1 muestra el circuito del mercado de reciclaje en la ciudad de Piura.

Fig. 3.1 Circuito del mercado de reciclaje



3.1. RESIDUOS SÓLIDOS EN LA CIUDAD DE PIURA

En el año 1999 la Municipalidad de Piura llevó a cabo el Plan Operacional: Recolección de residuos sólidos de Piura, en el cual se estimó la cantidad de residuos sólidos generados.

En este plan se zonificaron las áreas de trabajo de recolección de residuos, de acuerdo a la tabla 3.1 que se muestra a continuación.

Tabla 3.1 Producción de residuos sólidos por zonas urbanas

	LOCALIDAD CONFORMANTE	POBLACIÓN (Hab.)	PRODUCCIÓN PER CÁPITA (kg/Hab./día)	PRODUCCIÓN TOTAL (kg)
ZONA I	Quinta Julia	1 719	0.45	773.55
	06 de Setiembre	1 113	0.45	500.85
	18 de Mayo	3 115	0.45	1 401.75
	APV Los Titanes II	2 316	0.45	1 042.20
	San Pedro	5 186	0.45	2 333.70
	María Arguedas	1 423	0.45	640.35
	Jorge Basadre	550	0.45	247.50
	Manuel Escorza	634	0.45	285.30
	Laguna Azul	930	0.45	418.50
	Victor Raúl	1 127	0.45	507.15
	Héroes del Cenepa	515	0.45	231.75
	José Olaya	1 832	0.45	824.40
	Almirante Miguel Grau I y II	5 102	0.45	2 295.90
	Las Palmeras	1 645	0.45	740.25
	Susana Higushi	600	0.45	270.00
	Otros	1 200	0.45	540.00
	TOTAL	29 007	0.45	13 053.15

	LOCALIDAD CONFORMANTE	POBLACIÓN (Hab.)	PRODUCCIÓN PER CÁPITA (kg/Hab./día)	PRODUCCIÓN TOTAL (kg)
ZONA II	31 de Enero	1 748	0.45	786.60
	Consuelo de Velasco	5 539	0.45	2 492.55
	Ignacio Merino	2 185	0.45	983.25
	López Albuja	2 734	0.45	1 230.30
	Alfonso Ugarte	817	0.45	367.65
	Jorge Chávez I y II	1 762	0.45	792.90
	Ricardo Jauregui	3 819	0.45	1 718.55
	Nstra. Sra. De Fátima	1 776	0.45	799.20
	11 de Abril	987	0.45	444.15
	Tupac Amaru I,II y III	6 990	0.45	3 145.50
	TOTAL	28 357	0.45	12 760.65

	LOCALIDAD CONFORMANTE	POBLACIÓN (Hab.)	PRODUCCIÓN PER CÁPITA (kg/Hab./día)	PRODUCCIÓN TOTAL (kg)
ZONA III	Santa Julia	5 313	0.45	2 390.85
	A. Sanchez Arteaga	365	0.45	164.25
	Nueva Esperanza	16 236	0.45	7 306.20
	Otros	3 500	0.45	1 575.00
	TOTAL	25 414	0.45	11 436.30

ZONA IV	LOCALIDAD CONFORMANTE	POBLACIÓN (Hab.)	PRODUCCIÓN PER CÁPITA (kg/Hab./día)	PRODUCCIÓN TOTAL (kg)
	APV Los Titanes I	2 421	0.45	1 089.45
	Unidad Vecinal	599	0.61	365.39
	Urb. 04 de Enero	490	0.61	298.90
	Cuartel Grau			
	Buenos Aires	3 946	0.45	1 775.70
	Ag. Vec. Urteaga	500	0.45	225.00
	Urb. Popular San José	7 601	0.45	3 420.45
	Urb. Piura	5 971	0.61	3 642.31
	Las Malvinas	521	0.45	234.45
	TOTAL	22 049	0.50	11 051.65

ZONA V	LOCALIDAD CONFORMANTE	POBLACIÓN (Hab.)	PRODUCCIÓN PER CÁPITA (kg/Hab./día)	PRODUCCIÓN TOTAL (kg)
	A.H. Santa Rosa	11 157	0.45	5 020.65
	A.H. Cesar Vallejo	577	0.45	259.65
	A.H. Los Heraldos	324	0.45	145.80
	A.H. San Martín	12 642	0.45	5 688.89
	Los Ficus	5 511	0.45	2 479.95
	TOTAL	30 211	0.45	13 594.95

ZONA VI	LOCALIDAD CONFORMANTE	POBLACIÓN (Hab.)	PRODUCCIÓN PER CÁPITA (kg/Hab./día)	PRODUCCIÓN TOTAL (kg)
	Urb. Club Grau	586	0.61	357.46
	A.V. Clarke	275	0.61	167.75
	Residencial Miguel Grau	1 405	0.61	857.05
	Urb. Los Magistrados	122	0.61	74.42
	Urb. San Isidro	272	0.61	165.92
	A.V. Taiman	200	0.61	122.00
	Urb. Monte Rico	180	0.61	109.80
	Urb. Res. Empleados Municipales	38	0.61	23.18
	Urb. Santa Ana	1 830	0.61	1 116.30
	Urb. Talara	260	0.61	158.60
	Urb. Magisterial	788	0.61	480.68
	Urb. El Chilcal	77	0.61	46.97
	Urb. Bancarios	750	0.61	457.50
	Urb. Residencial Piura	1 106	0.61	674.66
	Urb. San Miguel	145	0.61	88.45
	Urb. Las Mercedes	1 611	0.61	982.71
	Urb. La Alborada	1 213	0.61	739.93
	Urb. Chira Piura	1 000	0.61	610.00
	Los Tallanes I Etapa	2 335	0.61	1 424.35
	Urb. Municipal	38	0.61	23.18
	A.H. Las Capullanas	1 691	0.45	760.95
	A.H. Micaela Bastidas	7 794	0.45	3 507.30
	TOTAL	23 716	0.60	12 949.16

ZONA VII	LOCALIDAD CONFORMANTE	POBLACIÓN (Hab.)	PRODUCCIÓN PER CÁPITA (kg/Hab./día)	PRODUCCIÓN TOTAL (kg)
	Piura Cercado	11 531	0.61	7 033.91
	Barrio Norte	2 119	0.61	1 292.59
	Sur	513	0.61	312.93
	A.V. Juan Pablo	552	0.45	248.40
	A.H. Alán Perú	521	0.45	234.45
	Barrido - Centro			2 000.00
	TOTAL		0.55	11 122.28

ZONA VIII	LOCALIDAD CONFORMANTE	POBLACIÓN (Hab.)	PRODUCCIÓN PER CÁPITA (kg/Hab./día)	PRODUCCIÓN TOTAL (kg)
	A.H. Pachitea	6,441	0.45	2,898.45
	Urb. Santa Isabel	2,201	0.61	1,342.61
	Urb. Angamos I y II Etapa	1,263	0.61	770.43
	A.H. Tangará	338	0.45	152.10
	A.P.V. Las Palmeras	350	0.45	157.50
	Urb. San Felipe	440	0.61	268.40
	Urb. El Chipe	230	0.61	140.30
	Urb. San Ramón	846	0.61	516.06
	Urb. San Eduardo	287	0.61	175.07
	Residencial Vicús	1,529	0.61	932.69
	Urb. La Laguna del Chipe	149	0.61	90.89
	Urb. Los Geranios	429	0.61	261.69
	Santa María del Pinar	107	0.61	65.27
	A.P. La Providencia	230	0.45	103.95
	A.P. Los Rosales	149	0.45	67.05
	Urb. Lourdes	450	0.61	274.50
	Urb. Los Cedros	400	0.61	244.00
	Augusto G. Velarde	344	0.45	154.80
	Otros			2,000
	TOTAL		0.56	10,615.76

ZONA IX	LOCALIDAD CONFORMANTE	POBLACIÓN (Hab.)	PRODUCCIÓN PER CÁPITA (kg/Hab./día)	PRODUCCIÓN TOTAL (kg)
	Zona Industrial	351	0.80	280.80
	Ignacio Merino I y II	5 971	0.61	3 642.31
	A.H. Los Algarrobos	10 021	0.45	4 509.45
	A.H. 28 de Julio	366	0.45	164.70
	Urb. Bello Horizonte	834	0.61	508.74
	A.H. 4 de Octubre	805	0.45	362.25
	Otros	2 500	0.45	1 125.00
	TOTAL	20 848.00	0.55	12 093.25

ZONA X	LOCALIDAD CONFORMANTE	POBLACIÓN (Hab.)	PRODUCCIÓN PER CÁPITA (kg/Hab./día)	PRODUCCIÓN TOTAL (kg)
	C.H. Micaela Bastidas I,II,III,IV	7 794	0.45	3 507.30
	A.H. San Sebastian	4 397	0.45	1 978.65
	Urb. Popular Luis Paredes Maceda	1 200	0.45	540.00
	Urb. Popular Luis A. Sanchez	1 800	0.45	810.00
	Otros (Perú-Canada, V. Hermoza, Ciudad del Sol)	4 510	0.45	2 029.50
	TOTAL	19 701	0.45	8 865.45

ZONA XI	LOCALIDAD CONFORMANTE	POBLACIÓN (Hab.)	PRODUCCIÓN PER CÁPITA (kg/Hab./día)	PRODUCCIÓN TOTAL (kg)
	Complejo de Mercados			15 000.00
	TOTAL			15 000.00

ZONA XII	LOCALIDAD CONFORMANTE	POBLACIÓN (Hab.)	PRODUCCIÓN PER CÁPITA (kg/Hab./día)	PRODUCCIÓN TOTAL (kg)
	Distrito de Piura - Barrido			10 000.00
	TOTAL			10 000.00

ZONA XIII	LOCALIDAD CONFORMANTE	POBLACIÓN (Hab.)	PRODUCCIÓN PER CÁPITA (kg/Hab./día)	PRODUCCIÓN TOTAL (kg)
	Contenedores - Varios			6 000.00
	TOTAL			6 000.00

ZONA XIV	LOCALIDAD CONFORMANTE	POBLACIÓN (Hab.)	PRODUCCIÓN PER CÁPITA (kg/Hab./día)	PRODUCCIÓN TOTAL (kg)
	Camal + Visceras			8 000.00
	TOTAL			8 000.00

Además, la Municipalidad de Piura lleva un control de los ingresos de residuos al botadero municipal, el cual se muestra en la tabla 3.2. Estos datos son calculados del volumen de los camiones compactadores, ya que no se cuenta con una balanza en el botadero municipal; de allí las variaciones que se presentan.

Tabla 3.2 Consolidado de Residuos Sólidos y Otros de la ciudad de Piura ^[22]

Nº	Servicios de Recolección	Unid	2001	2002	2003
	RESIDUOS SÓLIDOS				
1	Recolección Domiciliaria	t	36 620.50	40 186.00	39 884.00
2	Recolección Mercado Central	t	7 361.85	6 628.02	7 120.45
3	Recolección Contenedores	t	1 712.50	532.50	171.75
4	Recolección Extramuros	t	4 161.80	2 333.15	2 408.75
5	Rec. Vísceras, Estiércol, Mdo Zonales	t	1 838.00	2 180.00	2 223.50
6	Recolección Barrido	t	2 624.05	4 084.35	4 739.80
7	Operativos de Limpieza	t	2 406.05	1 763.00	2 540.50
	SUB TOTAL	t	56 724.75	57 707.02	59 088.75
	OTROS				
1	Desmante	t	17 400.00	10 012.25	7 332.00
2	Tierra	t	10 916.80	1 653.12	5 862.60
	SUB TOTAL	t	28 316.80	11 665.37	13 194.60
	TOTAL GENERAL	t	85 041.55	69 372.39	72 283.35

Fuente: Municipalidad Provincial de Piura. Dirección de Población, Salud y Saneamiento Ambiental. Resumen recolección de residuos sólidos- Piura.

De estos datos se estima la producción total de residuos sólidos en Piura es 156 542.6 kg/día.

Según la tabla 3.2, los residuos sólidos domiciliarios representan la mayor cantidad de residuos generados en la ciudad. En el año 2003 ingresaron al relleno sanitario 39 884.4 toneladas, es decir ingresaron 110.79 toneladas diarias de residuos provenientes de los hogares.

3.1.1 Producción per cápita ^[33]

La Municipalidad de Piura de acuerdo a la zonificación establecida para el distrito de Piura ha determinado que la producción per cápita (PPC) se encuentra en el rango de 0.5 – 0.7 kg/día, calculado en el plan operacional: Recolección de residuos sólidos en 1999.

3.1.2 Composición física de los residuos sólidos. ^[33]

La composición física de los residuos sólidos en Piura se muestra en la tabla 3.3..

Los plásticos, materia de estudio, representan el 4.78% de estos materiales.

Tabla 3.3 Composición física de los residuos sólidos en la ciudad de Piura ^[33]

Material	Porcentaje de composición (%)
Material inerte	36.74
Textiles, trapos	3.16
Madera/hueso/paja	4.45
Caucho/cuero	2.60
Plástico	4.78
Metales	2.31
Vidrio/cerámica	3.76
Papel	4.21
Veget. Putrescibles	37.45

3.1.3 Recuperación de residuos en la ciudad de Piura^[33]

Según datos de la Municipalidad de Piura, los recuperadores de residuos se dedican a recolectar los siguientes materiales:

Cartones y papelería en general	29.9%
Residuos de latas y residuos metálicos	10.9%
Residuos de plástico y hule	4.0%
Otros	55.2%

3.1.4 Residuos plásticos en la ciudad de Piura

El porcentaje de composición física que representan los plásticos dentro de los residuos sólidos en la ciudad de Piura representan el 4.78% en peso.

Si estimamos para el año 2005 una población en el distrito de Piura de 254 464 habitantes y siendo la producción per capita promedio de 0.6 kg/día la producción de residuos plásticos será de 7 298 kg/día (219 t/mes)

Según entrevistas que se ha tenido con los recuperadores situados a los alrededores del botadero municipal, se recuperan aproximadamente 20 t/mes de residuos plásticos, es decir el 9% de los residuos generados.

Los materiales plásticos que se recuperan en su mayoría son: polietileno (film, envases, etc.), polipropileno (bateas, recipientes, tapas, etc.), PET (envases de refrescos y gaseosas), poliestireno (vasos y platos descartables), policloruro de vinilo (zapatillas, pelotas, etc.).

Cabe recalcar que las bolsas (LDPE) que “chilla” no son recuperadas porque ya no puede ser reprocesada.

3.2 PROCESO DE RECICLAJE DE PLÁSTICOS

Las etapas del proceso de reciclaje mecánico que se llevan a cabo en la ciudad de Piura se describen a continuación.

3.2.1 Clasificación

Después de recuperado, el material plástico es clasificado según el proceso de manufactura por el que fue elaborado (ver fig. 3.3). Si en la parte inferior tiene un punto (.), éste ha sido elaborado mediante un proceso de soplado. Si tiene una raya (-) ha sido elaborado mediante inyección.

El material plástico es clasificado, también, por colores y por tipo de plástico (ver fig.3.4.). En algunos casos la clasificación por colores se realiza después del cortado para su posterior embalaje y venta.



Fig. 3.3 Botellas plásticas clasificadas fabricadas mediante el proceso de moldeo por inyección



Fig 3.4 Botellas PET clasificadas como transparentes

3.2.2 Cortado

El material clasificado es cortado manualmente utilizando machetes (ver fig.3.5). Previamente es despojado de etiquetas y tapas.



Fig 3.5 Cortado del material plástico utilizando machetes

Las tapas de las botellas son separadas y almacenadas para su comercialización como se muestra en la fig. 3.6; en su mayoría éstas están hechas de polipropileno (PP).



Fig. 3.6 Tapas plásticas

En el caso de las suelas de zapato, ésta se compra como zapato o zapatilla completa y se realiza la separación de la lona o el cuero respectivo de la suela; así finalmente se vende sólo la suela.

3.2.3 Molido

Esta es la etapa más avanzada que se lleva a cabo en la ciudad de Piura y se realiza para el polietileno tereftalato (PET). Previamente cortado, el PET (conocido como botella transparente) es molido para ser comercializado como *scrap* en la ciudad de Lima donde es vendido a 1.30 nuevos soles por kilogramo (año 2001). Este *scrap* es utilizado para la elaboración de calaminas plásticas según información de un trabajador de esa empresa.

3.2.4 Embalaje

El plástico cortado y seleccionado es almacenado en sacos o balas de hasta 70 kg. El *scrap* de PET molido es embalado en sacos o balas de 35 a 50 kg. Ver fig. 3.7 y 3.8.



Fig 3.7 Envases PET embalados



Fig 3.8 Plástico mezclado embalado

3.3 PRECIOS

Los plásticos recuperados se comercializan según la clasificación que los recuperadores han adoptado.

En esta clasificación, se distinguen las botellas PET, plástico mezclado (botellas, baldes, bateas, envases, etc), las bolsas y tapas. Los precios del plástico recuperado se muestran en la tabla 3.4.

Tabla 3.4 Precios a nivel de recuperadores minoristas cerca al botadero municipal de Piura

Tipo de Plástico	Compra (S/. por kg)	Venta (S/. por kg)
PET	0.10	0.13 – 0.20
PVC (Pelotas, suelas de zapatillas, mangueras)*	0.40 – 0.50	0.70 – 1.00
Plástico mezclado (PP, PE, PS)	0.10 – 0.15	0.12 – 0.20
Bolsas (LDPE)	0.10 – 0.15	0.12 – 0.20
Tapas (PP)	-	0.25

*La suela de zapato se compra con lona o cuero y se vende sin ella, es decir solo suela.
Elaboración propia.

Fuente: Entrevista con los recuperadores – Junio 2003.

Los recuperadores minoristas compran los envases de PET en 0.10 nuevos soles por kilogramo y lo venden entre 0.13 y 0.20 nuevos soles por kilogramo, el precio es mayor cuando se vende sin tapa y sin etiqueta; las botellas PET son embaladas en sacos de 35 kg aproximadamente. En el caso del PVC, los recuperadores lo compran del botadero municipal a precios entre 0.40 y 0.50 nuevos soles por kilogramo, para luego venderlo a precios entre 0.70 y 1.00 nuevos soles; se alcanza un mejor precio en el caso de las suelas de las zapatillas, ya que ésta necesita ser despojada de la lona u otro material. Los recuperadores compran del botadero municipal el plástico mezclado entre 0.10 – 0.15 nuevos soles por kilogramo y lo venden a 0.12 – 0.20 nuevos soles por kilogramo. En el caso de las bolsas se compra a 0.10 – 0.15 nuevos soles y se vende entre 0.12 y 0.20 nuevos soles. Para las tapas de los envases el precio es de 0.25 nuevos soles por kilogramo.

3.4 VOLÚMENES DE RECUPERACIÓN

En cuanto a los volúmenes de recuperación se estima, según las entrevistas realizadas, las siguientes cantidades según el tipo de plástico:

Plástico mezclado (incluye el PET):	10 t/mes
Bolsas (film):	03 t/mes
PVC:	07 t/mes
TOTAL:	20 t/mes

3.5 MERCADO

Según manifestaciones de los recuperadores, los materiales plásticos son vendidos a mayoristas que los transportan a las ciudades de Lima y Trujillo donde son posteriormente comercializadas a las empresas recicladoras, medianas y grandes, de estas ciudades.

CAPITULO IV

DATOS TÉCNICO ECONÓMICOS DEL PROCESO DE RECICLAJE PROPUESTO.

4.1 DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA DE RECICLAJE MECÁNICO

Actualmente, debido a la factibilidad técnica y económica, el reciclaje mecánico de los plásticos se presenta como la mejor opción para la contribución a la gestión de los residuos sólidos en Piura.

Se llegará a la etapa de fabricación de *scraps*, ya que es un producto a partir del cual se pueden elaborar diferentes productos de igual manera que con *pellets*; además tiene mayor demanda que el *pellet* de plástico reciclado. El tamaño del *scrap* será entre 8 a 10 mm que es la medida de mayor demanda.

Los residuos elegidos para ser procesados son el PET, el HDPE y el PP, cuyo *scrap* cuenta con mayor demanda en el país y fuera de él.

La cantidad de residuos plásticos en Piura se toma a partir de la generación de estos residuos, que como se dijo en el capítulo 3 es 219 t/mes. Por otro lado, según datos de un estudio realizado por una ONG en Piura, la cantidad de residuos de PET representa el 30% de los residuos plásticos (1.3% del total de residuos sólidos), es decir, 65.7 t/mes; en el caso del plástico mixto (HDPE/PP), éstos representan el 37.2% de los residuos plásticos (1.6% del total de residuos sólidos), es decir, 81.5 t/mes. Estos valores se han utilizado para calcular la capacidad requerida de la maquinaria.

Los residuos plásticos disponibles se estiman en un 85% de los residuos plásticos generados.

Estos residuos se comprarán a los recolectores de residuos ubicados en las cercanías del botadero municipal y a recolectores itinerantes. Estos recolectores venden el PET ya seleccionado de los demás plásticos por lo que la etapa de clasificación se simplificaría. De igual manera ocurre con el plástico mixto (PP, HDPE) el cual también se obtiene separado de otros como el PVC y el LDPE (bolsas plásticas). En algunos casos, como se mencionó en el capítulo anterior, el plástico se vende separado por colores.

La venta de *scrap* se realizará a las empresas transformadoras de productos plásticos de la ciudad de Lima. Otra opción de venta es el mercado exterior donde se pagan precios entre US\$ 0.4 y US\$ 0.6 por kg.

El cálculo de la capacidad de la maquinaria necesaria para el procesamiento de plástico PET se estima de la siguiente manera:

Generación mensual de residuos = **65 700 kg.**

Generación diaria de residuos = 65 700 kg / 30 días = **2 190 kg/día.**

Residuos plásticos disponibles = 2 190 kg/día * 85 % = **1 862 kg/día**

Capacidad requerida de la maquinaria = $1862 \text{ kg/día} / 8 \text{ h/día} = 233 \text{ kg/h}$

De igual manera se realiza el cálculo de la capacidad necesaria para el procesamiento de plástico mixto (HDPE/PP):

Generación mensual de residuos = **81 500 kg.**

Generación diaria de residuos = $81\,500 \text{ kg} / 30 \text{ días} = 2\,717 \text{ kg/día.}$

Residuos plásticos disponibles = $2\,190 \text{ kg/día} * 85 \% = 2\,309 \text{ kg/día}$

Capacidad requerida de la maquinaria = $2309 \text{ kg/día} / 8 \text{ h/día} = 288 \text{ kg/h}$

Para la selección de maquinaria se solicitó maquinaria de capacidad entre 300 – 500 kg/hora pensando en la ampliación de la planta y debido a que por información de fabricantes, maquinaria con capacidad menor a 300 kg/hora no son rentables.

4.2 PRECIOS

Los precios de los desechos plásticos en la ciudad de Piura y los precios del plástico reciclado procesado (*scraps*, *pellets*) al 2003 se muestran en las tablas 4.1 y 4.2 respectivamente.

Tabla 4.1 Precios de los desechos plásticos en Piura

Desecho plástico en Piura	
Material	Precio de compra (US\$/kg)
PET	0.05
Mixto (PE, PP, PS)	0.05
PVC	0.25
Bolsas	0.05
Tapas	0.07

Elaboración propia

Fuente: Entrevistas a recicladores en la ciudad de Piura.

Tabla 4.2 Precios del plástico reciclado procesado

Plástico Reciclado	
Material	Precio de venta (US\$/kg)
Scrap	0.35
Pellet negro	0.35
Pellet color	0.44
Pellet cristalino	0.49

Fuente: Mecanismos para el funcionamiento de Bolsas de Residuos como un aporte a la Gestión Ambiental. IPES. Agosto 2002

Se puede apreciar una gran diferencia entre los precios de compra del desecho y los precios de venta del *scrap* o *pellet*, debido a las diferentes etapas de transformación que sufre el desecho plástico.

Según el mercado, el precio está en función a los tipos de plástico reciclado, siendo el de mayor precio el *pellet* cristalino que se obtiene de los residuos plásticos de PET, y que tiene más demanda por la industria del plástico ya que tienen la posibilidad de darle el color que ellos requieren durante su proceso industrial; en cambio los *pellets* de color y negro tienen menor precio y se obtienen de los otros tipos de plástico reciclado (HDPE, LDPE, PVC, PP, PS y otros). El *scrap* tiene un menor precio porque es obtenido de los residuos plásticos en la etapa de molienda.

4.3 SELECCIÓN DE MAQUINARIA

Para seleccionar la maquinaria adecuada se solicitó cotizaciones a empresas importadoras de maquinaria en el país, a través de internet y a fabricantes nacionales. Fue necesario dar a conocer las características de los productos plásticos a reciclar y del proceso que se piensa implementar para que las empresas ayudasen a proponer la mejor opción.

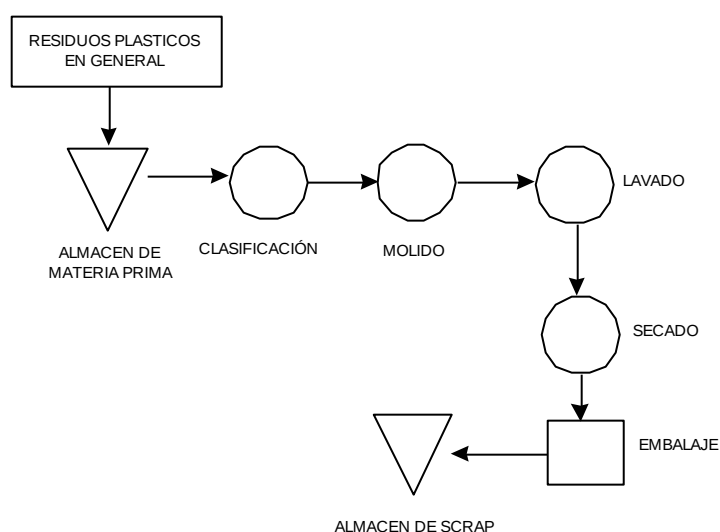
Estas características o información necesaria es la siguiente:

- ✓ Tipo de material a reciclar.
- ✓ Forma física del material: Películas, rafia, botellas, fibras, material triturado u otros.
- ✓ Origen del material plástico a reciclar: botadero municipal, distribuidores de botellas, recolectores de basura, etc.
- ✓ Contenido original del material a ser reciclado: alimentos, productos químicos, etc.
- ✓ Producción requerida (kg/h).
- ✓ Grado de limpieza que deben tener los materiales procesados.
- ✓ Grado de reciclaje: *scrap* o *pellets*.

Para nuestro caso se dieron las siguientes características:

- ✓ Tipo de material a reciclar: HDPE, PP, PS, PVC, PET
- ✓ Forma física del material: botellas, recipientes y otros.
- ✓ Origen del material plástico a reciclar: relleno sanitario, recolectores de basura.
- ✓ Contenido original del material a ser reciclado: alimentos, productos químicos, etc.
- ✓ Producción requerida: 300 – 500 kg/h
- ✓ Grado de limpieza que deben tener los materiales procesados: 90 %
- ✓ Grado de reciclaje: *scrap*

Existen diferentes tipos de maquinaria y tecnología según el tipo de plástico que se pretenda reciclar. Se han seleccionado 03 opciones, 02 para el reciclaje de botellas PET, una con maquinaria importada nueva y otra con maquinaria de fabricación nacional, la tercera opción es de maquinaria para el reciclaje de plástico mezclado PP y PE. En la fig. 4.1 se muestra el diagrama de flujo del proceso de reciclaje propuesto.

Fig. 4.1. Diagrama de flujo del proceso de reciclaje de plásticos propuesto

En la tabla 4.3 se muestra la forma cómo se llevará a cabo las operaciones para las distintas opciones propuestas.

Tabla 4.3 Tipo de proceso de la etapas de la propuesta de reciclaje

Etapas	Opción 1	Opción 2	Opción 3
Clasificación	Manual	Manual	Manual
Molido	Automático	Automático	Automático
Lavado	Automático	Automático	Automático
Secado	Automático	Automático	Automático
Embalaje	Manual	Manual	Manual

Las etapas de clasificación y embalaje se realizarán manualmente.

En el caso de la opción 03, las operaciones de transportación de una etapa a otra se realizarán utilizando la mano de obra disponible.

4.3.1 Características técnicas de los equipos

4.3.1.1 Opción 01: Reciclaje de botellas PET ^[23] (Ver fig. 4.2)

Es un sistema de molienda, lavado y secado de botellas PET .

1 MOLINO MARCA SEIBT MODELO MGHS 40/600 A – Y

Principales características técnicas:

- Construcción horizontal
- Motor trifásico de 30 kW, 4 polos.
- Tamiz opcional de 8, 10, 12, 14, 20, 25, 30 e 35 mm Ø o especial
- Cuchillas en acero especial
- Producción en molienda de PET: aprox 450 kg/hora
- Precio

US\$ 10 260

TANQUE DE DRENAJE

- Tanque construido en chapa de acero SAE 1020 soldada
- Pintado con pintura epóxica
- Con registro para desagüe
- Precio

US\$ 1 415**1 TORNILLO TRANSPORTADOR**

- construido en chapa inoxidable
- Totalmente perforada para drenaje del agua
- Accionada por motor eléctrico trifásico de 1.5 kW.
- Precio

US\$ 3 115**1 LAVADORA MARCA SEIBT**

- Cuerpo construido en chapa de acero SAE 1020
- Accionado por motor trifásico de 11.25 kW.
- Rotor con 8 hélices, balanceado.
- Precio

US\$ 4 500**1 TANQUE DE DECANTACION Y SEPARACION DE ROTULOS
CON 2 TORNILLOS TRANSPORTADORES**

- Construido en chapa de acero SAE 1020, midiendo 5 000 x 1 700 x 2 000 mm
- Fondo del tanque, por debajo del tornillo, en chapa perforada, para pasaje de impurezas
- Con 3 purgadores, en la parte inferior
- Accionadas por motor eléctrico trifásico de 1.5 kW.
- Agitador accionado por motor eléctrico de 0.75 kW.
- Precio

US\$ 9 475**2 PRE-SECADORES MARCA SEIBT**

- Accionados por motores trifásicos de 15 kW cada uno
- Rotores con 6 hélices cada, balanceados. 2 000 rpm.
- Precio

US\$ 9 050**1 VENTILADOR/ SECADORES MARCA SEIBT Modelo VCS 500**

- Con potencia de motor de 9.38 kW.
- Disco con 8 aspas. 3 500 rpm.
- Precio

US\$ 2 250**1 SILO-CICLONE MARCA SEIBT**

- Con capacidad de almacenamiento de 1.700 litros
- Estructura base para BIG – BAG
- Con filtro manga para retención de polvo
- Precio

US\$ 1 915**1 ARMARIO CON CUADRO DE COMANDO ELÉCTRICO CENTRALIZADO**

Para accionamiento e intertrabamiento de todos los motores del conjunto, incluidos inversores de frecuencia para la cinta.

Precio

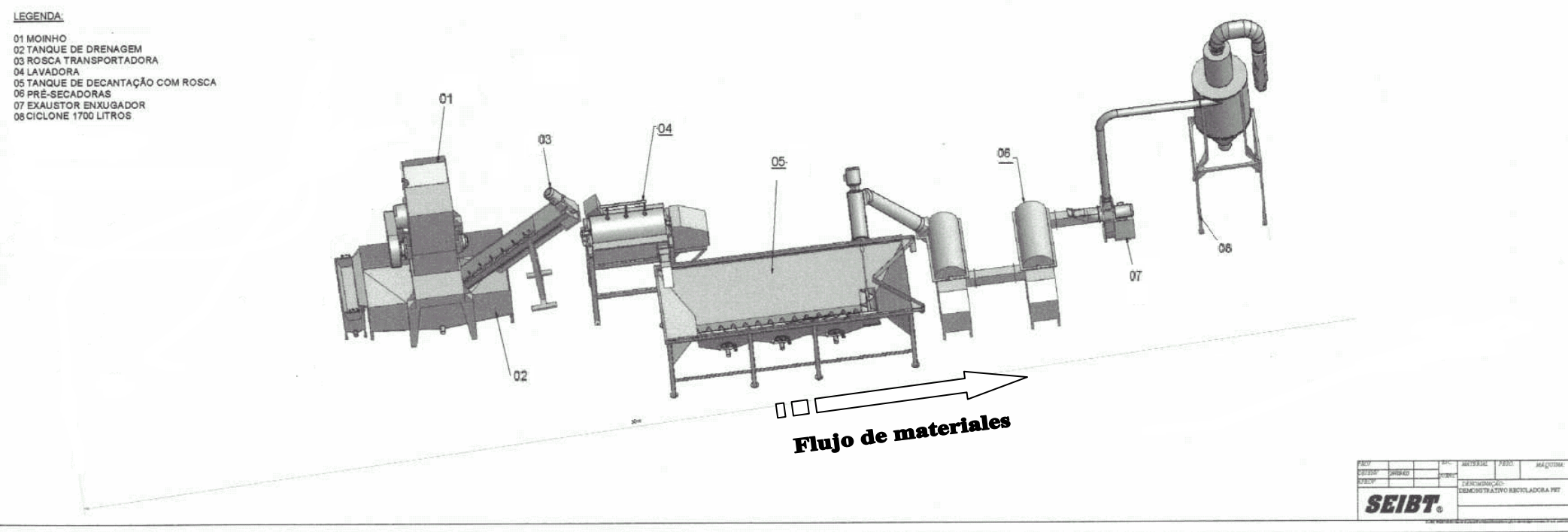
US\$ 7 450**Produccion por hora del sistema : 450 kg**

Consumo agua circulante: 30 m³ con posibilidad de reutilizacion del agua del molino y de la lavadora, en sistemas cerrados de circulación (recambio más frecuente).

Consumo de energía eléctrica: 84.5 kW.

Energía : 380 V 60 Hz.

Fig. 4.2 Línea de producción para el reciclaje de PET



4.3.1.2 Opción 02: Reciclaje de PP/PE ^[24] (Ver fig. 4.3)

1 MOLINO GRANULADOR Marca: CASTIN; Modelo: CAS 42P ^[28]

Principales características técnicas

- Motor : 11.25 kW
- Capacidad: 400 kg/hora
- Precio

US\$ 6 742

1 TORNILLO TRANSPORTADOR PARA DRENAJE CON BOCAL COLECTOR (debajo del molino)

- Tornillo construido en chapa acero SAE 1020, diámetro 400 mm x 5 500 mm largo
- Con registro para desagüe.
- Totalmente perforada para drenar a agua
- Accionada por motor eléctrico trifásico de 2.25 kW.
- Con reductor de velocidades.
- Precio

US\$ 4 060

1 TANQUE DE DECANTACION CON AGITADOR LAVADOR

- Tanque construido en chapa de acero SAE 1020 soldada, de 5 000x1 700x1 000mm
- Fondo del tanque con purgadores para descarte de impurezas
- Agitador con 800 mm diámetro x 2 500 mm, accionado con motor eléctrico de 1.88 kW.
- Precio

US\$ 9 600

1 TORNILLO TRANSPORTADOR

- Construido en chapa de Acero SAE 1020, con Ø 300 mm x 1 300 mm largo total.
- Totalmente perforada para drenar a agua.
- Accionada por motor eléctrico trifásico de 1.13 kW.
- Con reductor de velocidades.
- Precio

US\$ 2 525

2 PRE-SECADORES

- Accionados por motores trifásicos de 15 kW cada uno.
- Rotores con 6 Hélices, balanceadas cada una 2 000 rpm.
- Precio

US\$ 9 050

1 CENTRIFUGA SECADORA MARCA SEIBT

- Con un (1) ventilador de 9.38 kW
- Disco con 8 aspas. 3 500 rpm.
- Precio

US\$ 2 250

PANEL ELECTRICO

- Con intertrabamiento para accionamiento de tornillos, agitador, presecadores y centrífuga secadora.
- Precio

US\$ 5 000

1 SILO DE ALMACENAMIENTO DE 1700 LITROS

- en chapa galvanizada
- con estructura para BIG-BAG
- Precio

US\$ 1 915

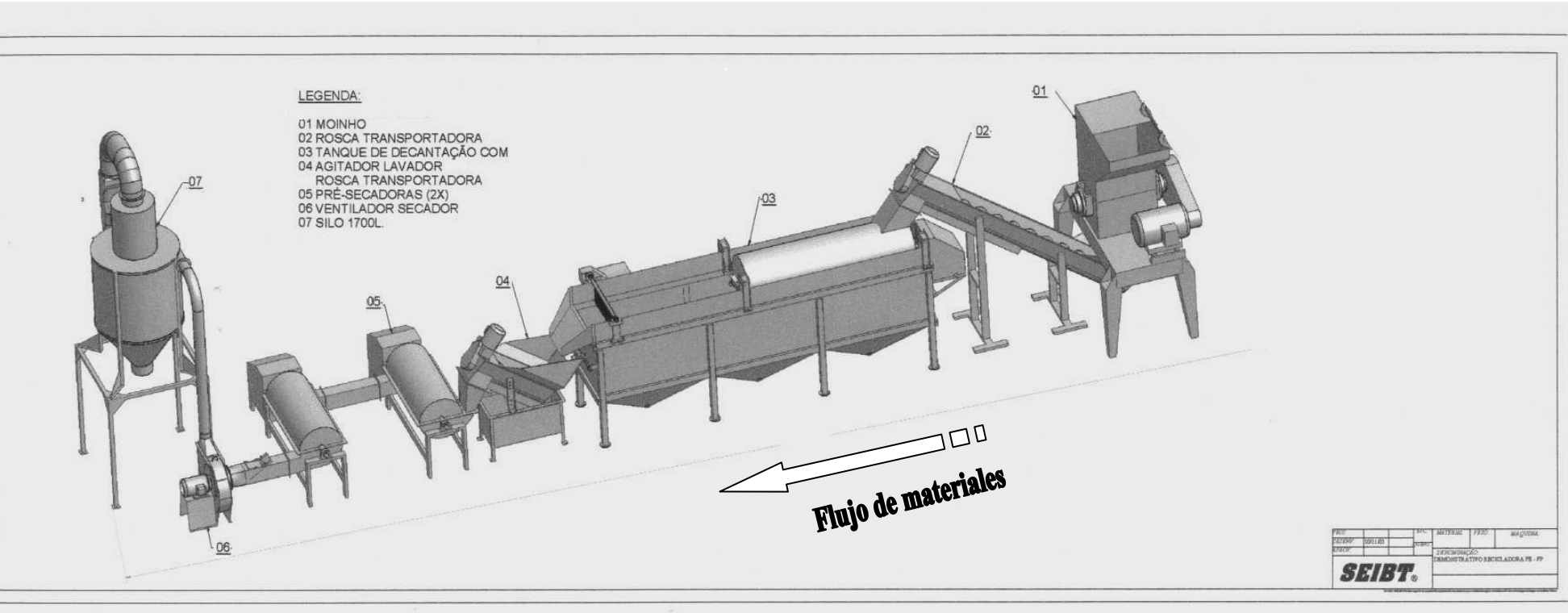
Produccion del sistema: 400 kg/hora.

Consumo agua circulante: 8 a 10 m³ en el molino (recambio más frecuente). 8 a 10 m³ en el tanque (menor renovación de agua).

Consumo de energía eléctrica: 56 kW.

Energía : 380 V 60 Hz.

Fig. 4.3 Línea de producción para el reciclaje de PE y PP



4.3.1.3 Opción 03: Molienda y lavado de PET

Esta alternativa considera maquinaria de fabricación nacional cotizada por un reciclador de la ciudad de Trujillo. Consta de la siguiente maquinaria.

1 MOLINO

- Con motor de 22.5 kW
- Precio

US\$ 3 000

1 LAVADORA

- Con motor de 2 kW.
- Precio

US\$ 2 500

1 CENTRIFUGA SECADORA

- Con ventilador de 9 kW
- Precio

US\$ 1 800

Capacidad de producción aprox: 300 kg/h

Consumo de energía eléctrica aprox.: 33.5 kW.

Energía : 380 V 60 Hz.

4.4 INVERSIÓN

4.4.1 Inversión en maquinaria

La inversión en maquinaria necesaria para cada opción se muestra en la tabla 4.4.

En cada una de las opciones es necesario el uso de 01 balanza para el pesado de la materia prima y el producto final. La cotización de la balanza se ha obtenido de la empresa Scale International Services SAC de la ciudad de Lima.

Las características de la balanza se muestran a continuación:

- Capacidad máxima de 300 kg.
- Base de la plataforma de 19" x 19" (482.6 mm x 482.6 mm) de acero inoxidable.
- Adaptador de corriente alterna para 115 V
- Precisión de 0.1 kg.
- Precio US\$ 880.00

Tabla 4.4 Inversión en maquinaria

Opción	US\$
01 Reciclaje de PET	50 310
02 Reciclaje de PP/PE	42 022
03 Reciclaje de PET	8 180

Para la opción 01 es necesaria una inversión en maquinaria de US \$ 50 310, para la opción 02 US\$ 42 022, y para la opción 03 US\$ 8 180.

La menor inversión mostrada en la opción 03 se debe al uso de maquinaria de fabricación nacional.

4.4.2 Inversión en equipos

Es necesario el uso de una computadora para realizar gestiones administrativas y de ventas durante la operación, así como la gestión financiera de la empresa. El costo de la computadora se estima en US\$ 575.

Consideramos también la compra de artículos de seguridad para protección del personal. De acuerdo a una cotización de Consorcio Industrial Andrés SRL de la ciudad de Lima, la inversión anual asciende a US\$ 125. Estos artículos comprenden: botas de seguridad, cascos, anteojos, guantes, protectores auditivos y respiradores.

4.4.3 Inversión en terreno

Para la instalación de la maquinaria y el almacenamiento del producto se estima necesario un terreno de 200 m² a un costo de US\$ 10 por m² hace una inversión de US\$ 2 000

La inversión total para cada opción variará en función del capital de trabajo necesario para cada una de ellas, lo cual se muestra más adelante en el flujo de caja de cada opción.

4.5 CAPACIDAD

A continuación en la tabla 4.5 se muestra una comparación de las características de capacidad de las alternativas antes descritas.

Tabla 4.5 Especificaciones de la maquinaria

Especificaciones	Opción 01	Opción 02	Opción 03
Modelo	Molienda de PET	Molienda de PP/PE	Molienda de PET
Potencia (kW)	84.5	56	33.5
Capacidad (kg/h)	450	400	300
Producto Final	<i>Scrap</i>	<i>Scrap</i>	<i>Scrap</i>

4.6 INGRESOS

En el cálculo de la cantidad de *scrap* procesado, se consideran como máximo un 3% de mermas debido a que los materiales plásticos recuperados contienen suciedad, restos líquidos lo que se va excluyendo durante el proceso, arrojando apenas polvo, producto de la molienda. Asimismo, para el cálculo de la capacidad de producción mensual se considera un turno de trabajo de 8 horas diarias y 25 días de trabajo al mes.

Tabla 4.6 Cálculo de ingresos por la venta de plástico reciclado en scraps

	Opción 01	Opción 02	Opción 03
Capacidad de producción nominal (kg/h)	450	400	300
Capacidad de producción mensual nominal (kg)	90 000	80 000	60 000
Materia prima disponible para procesar mensual (kg)	55 860	69 270	55 860
Cantidad de scrap plástico procesado (kg)	54 200	67 200	54 200
Precios (\$/kg)	0.35	0.35	0.35
Ingreso mensual (US \$.)	18 970	23 520	18 970
Ingreso anual (US \$)	227 640	282 240	227 640

Como se puede observar en la tabla 4.6, para la opción 01 el ingreso anual sería de US\$ 227 640; para la opción 02 sería de US \$ 282 240 debido a la mayor cantidad de material disponible para procesar; y para la opción 03 de US \$ 227 640.

Según los cálculos de la cantidad de materia prima disponible para ser procesada y la capacidad de la maquinaria de cada una de las opciones, se estima que se trabaje, en el caso de la opción 01 a un 62% de la capacidad instalada, lo cual quiere decir que la planta estaría parada durante 9 días; en la opción 02 se trabajaría a un 86.5 %, esto significa que la planta estaría parada durante 03 días; en la opción 03 se trabajaría a un 100% debido a que la capacidad instalada excede a la disponibilidad de materia prima.

Cabe recalcar que los días en los que la planta estaría parada, en el caso de las opciones 01 y 02, no están necesariamente perdidos debido a que es necesario comprar materia prima incluso antes de iniciar a operar la planta, para lograr una continuidad en el negocio.

4.7 EGRESOS

4.7.1 Compra de materia prima y otros insumos

Los egresos por materia prima se consideran según la cantidad de materia prima a comprar de acuerdo a la tabla 4.7

Tabla 4.7 Egresos por compra de materia prima

	Opción 01	Opción 02	Opción 03
Cantidad (kg)	55 860	69 270	55 860
Egreso mensual (US\$)	2 793	3 464	2 793
Egreso anual (US\$)	33 516	41 562	33 516

El egreso anual por la compra de materia prima para las opciones 01 y 03 ascendería a US\$ 33 516, y para la opción 02 ascendería a US\$ 41 562.

En las opciones 01 y 02 no es necesario el uso de aditivos como detergentes o soda cáustica sólo es necesario lavar con agua fría ya que se trata de tecnología de lavado a fricción

En el caso de la opción 03 si es necesario el uso de aditivos en la operación de lavado; el costo aproximado de los aditivos asciende a US\$ 20 por tonelada. Así, para procesar 20 toneladas, los costos serían de US\$ 400 al mes. Entonces, para esta alternativa los egresos anuales en materia prima e insumos se incrementarían a US\$ 33 916.

4.7.2 Mano de obra

Para ambas alternativas se considera 4 operarios de producción. Además de un jefe de planta encargado de la logística y representación de la empresa, quien a su vez realizará las funciones de supervisión.

El personal estará distribuido de la siguiente manera: 01 para la alimentación con el material a moler, 01 operación de lavado, 01 para la operación de secado y embalaje, 01 para asistencia en general.

Tabla 4.8 Egresos por pago a personal

Personal	Cant.	Sueldo bruto (S/.)	Contribuciones Sociales, IES, CTS, Senati, etc (30%)	Costo mano de obra mensual (S/.)	Costo mano obra anual (S/.)**	Costo mano de obra anual (US \$)
Operarios	04	1 840*	552	2 392	33 488	9 707
Jefe de Planta	01	3 000	900	3 900	54 600	15 826
Total	05	4 840	1 452	6 292	88 088	25 533

* 460 nuevos soles mensuales por cada operario

** 14 remuneraciones anuales

El costo anual de mano de obra y jefe de planta para las 03 opciones asciende a US\$ 25 533, según la tabla 4.8.

El sueldo del Jefe de Planta se considera en la clasificación de costos del flujo de caja y estado de ganancias y pérdidas proyectado dentro de los gastos administrativos.

4.7.3 Servicios

Los gastos estimados por servicios se resumen en la tabla 4.9.

Tabla 4.9 Egresos por servicios

Costo por servicios (S/. /mes)	Opción 01	Opción 02	Opción 03
Electricidad*	4 200	2 777	1 662
Agua	1 000	500	500
Teléfono	500	500	500
Mantenimiento	500	500	500
Total mensual (S/.)	6 200	4 277	3 162
Total anual (S/.)	74 400	51 324	37 944
Total anual (US\$)	21 565	14 877	10 998

El costo por servicio de electricidad se ha calculado considerando S/0.10 por kW-h en energía y S/. 29.6 por kW en potencia ^[25]. El cálculo de agua se ha estimado ya que no se cuenta con información suficiente, de igual manera el costo por servicio telefónico y mantenimiento.

Los costos de electricidad, agua y mantenimiento se consideran, en el flujo de caja, como costos indirectos de fabricación, mientras que los gastos de teléfono como gastos administrativos.

4.7.4 Gastos de ventas y otros

Se estima unos gastos de ventas de US\$ 1 000 dólares anuales por concepto de representación y /o publicidad.

Para todas las opciones se ha considerado una partida de imprevistos de US\$ 1 800 anuales para eventualidades o pagos diarios que se tengan que hacer.

4.8 ESTADOS DE GANANCIAS Y PÉRDIDAS Y FLUJOS DE CAJA PROYECTADOS

El costo de ventas que aparece en los estados de ganancias y pérdidas proyectados se ha calculado como la suma de los costos de materia prima, mano de obra directa y costos indirectos de fabricación. Ver tablas 4.10, 4.11, 4.12, 4.13, 4.14, 4.15.

Tabla 4.10 Estado de ganancias y pérdidas proyectado – Opción 01

CONCEPTO	2005 US \$	2006 US \$	2007 US \$	2008 US \$	2009 US \$
VENTAS	227 640	227 640	227 640	227 640	227 640
COSTO DE VENTAS	63 049	63 049	63 049	63 049	63 049
UTILIDAD BRUTA	164 591	164 591	164 591	164 591	164 591
GASTOS ADMINISTRATIVOS	17 565	17 565	17 565	17 565	17 565
GASTOS DE VENTAS	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000
GASTOS FINANCIEROS	19 247	10 498	0	0	0
UTILIDAD ANTES DE IMP	126 779	135 528	146 026	146 026	146 026
IMPUESTO A LA RENTA	38 034	40 658	43 808	43 808	43 808
UTILIDAD NETA	88 745	94 869	102 218	102 218	102 218

Tabla 4.11 Flujo de caja proyectado – Opción 01

CONCEPTO	2004 US\$	2005 US\$	2006 US \$	2007 US \$	2008 US \$	2009 US \$
INGRESOS						
Ventas	0	227 640	227 640	227 640	227 640	227 640
TOTAL INGRESOS	0	227 640	227 640	227 640	227 640	227 640
EGRESOS						
Inversiones	96 233	0	0	0	0	0
Costos de Fabricación						
Mano de Obra		9 707	9 707	9 707	9 707	9 707
Materia Prima		33 516	33 516	33 516	33 516	33 516
Costos indirectos de Fab		19 826	19 826	19 826	19 826	19 826
Costos de Operación						
Gastos Administrativos		17 565	17 565	17 565	17 565	17 565
Gastos de ventas		1 000	1 000	1 000	1 000	1 000
Imprevistos		1 800	1 800	1 800	1 800	1 800
Impuestos		38 034	40 658	43 808	43 808	43 808
TOTAL EGRESOS	96 233	121 448	124 073	127 222	127 222	127 222
FC ECONOMICO	-96 233	106 192	103 567	100 418	100 418	100 418
Prestamos	96 233	0	0	0	0	0
Amortización		43 742	52 491	0	0	0
Intereses		19 247	10 498	0	0	0
FC FINANCIERO	0	43 203	40 578	100 418	100 418	100 418

Tabla 4.12 Estado de ganancias y perdidas proyectado – Opción 02

CONCEPTO	2005 US \$	2006 US \$	2007 US \$	2008 US \$	2009 US \$
VENTAS	282 240	282 240	282 240	282 240	282 240
COSTO DE VENTAS	64 406	64 406	64 406	64 406	64 406
UTILIDAD BRUTA	217 834	217 834	217 834	217 834	217 834
GASTOS ADMINISTRATIVOS	17 565	17 565	17 565	17 565	17 565
GASTOS DE VENTAS	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000
GASTOS FINANCIEROS	19 198	10 472			
UTILIDAD ANTES DE IMP	180 070	188 797	199 268	199 268	199 268
IMPUESTO A LA RENTA	54 021	56 639	59 781	59 781	59 781
UTILIDAD NETA	126 049	132 158	139 488	139 488	139 488

Tabla 4.13 Flujo de caja proyectado – Opción 02

CONCEPTO	2004 US \$	2005 US \$	2006 US \$	2007 US \$	2008 US \$	2009 US \$
INGRESOS						
Ventas	0	282 240	282 240	282 240	282 240	282 240
TOTAL INGRESOS	0	282 240	282 240	282 240	282 240	282 240
EGRESOS						
Inversiones	95 991	0	0	0	0	0
Costos de Fabricación						
Mano de Obra		9 707	9 707	9 707	9 707	9 707
Materia Prima		41 562	41 562	41 562	41 562	41 562
Costos indirectos de Fab		13 137	13 137	13 137	13 137	13 137
Costos de Operación						
Gastos Administrativos		17 565	17 565	17 565	17 565	17 565
Gastos de ventas		1 000	1 000	1 000	1 000	1 000
Imprevistos		1 800	1 800	1 800	1 800	1 800
Impuestos		54 021	56 639	59 781	59 781	59 781
TOTAL EGRESOS	95 991	138 793	141 411	144 552	144 552	144 552
FC ECONOMICO	-95 991	143 447	140 829	137 688	137 688	137 688
Prestamos	95 991	0	0	0	0	0
Amortización		43 632	52 359	0	0	0
Intereses		19 198	10 472	0	0	0
FC FINANCIERO	0	80 617	77 999	137 688	137 688	137 688

Tabla 4.14 Estado de ganancias y pérdidas proyectado – Opción 03

CONCEPTO	2005 US \$	2006 US \$	2007 US \$	2008 US \$	2009 US \$
VENTAS	227 640	227 640	227 640	227 640	227 640
COSTO DE VENTAS	52 882	52 882	52 882	52 882	52 882
UTILIDAD BRUTA	174 758	174 758	174 758	174 758	174 758
GASTOS ADMINISTRATIVOS	17 565	17 565	17 565	17 565	17 565
GASTOS DE VENTAS	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000
GASTOS FINANCIEROS	10 901	5 946	0	0	0
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS	145 292	150 247	156 193	156 193	156 193
IMPUESTO A LA RENTA	43 588	45 074	46 858	46 858	46 858
UTILIDAD NETA	101 704	105 173	109 335	109 335	109 335

Tabla 4.15 Flujo de caja proyectado – Opción 03

CONCEPTO	2004 US \$	2005 US \$	2006 US \$	2007 US \$	2008 US \$	2009 US \$
INGRESOS						
Ventas	0	227 640	227 640	227 640	227 640	227 640
TOTAL INGRESOS	0	227 640	227 640	227 640	227 640	227 640
EGRESOS						
Inversiones	54 503	0	0	0	0	0
Costos de Fabricación						
Mano de Obra		9 707	9 707	9 707	9 707	9 707
Materia Prima		33 916	33 916	33 916	33 916	33 916
Costos indirectos de Fab		9 259	9 259	9 259	9 259	9 259
Costos de Operación						
Gastos Administrativos		17 565	17 565	17 565	17 565	17 565
Gastos de ventas		1 000	1 000	1 000	1 000	1 000
Imprevistos		1 800	1 800	1 800	1 800	1 800
Impuestos		43 588	45 074	46 858	46 858	46 858
TOTAL EGRESOS	54 503	116 835	118 321	120 105	120 105	120 105
FC ECONOMICO	-54 503	110 805	109 319	107 535	107 535	107 535
Prestamos	54 503	0	0	0	0	0
Amortización		24 774	29 729	0	0	0
Intereses		10 901	5 946	0	0	0
FC FINANCIERO	0	75 130	73 644	107 535	107 535	107 535

4.9 RESULTADOS

En la tabla 4.16 se muestran los resultados de la evaluación económica del proyecto de reciclaje de plásticos. Se han utilizado los criterios de Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de retorno (TIR) y el periodo de recuperación del capital (R).

Tabla 4.16 Resultados de la evaluación económica.

Criterios		Opción 01	Opción 02	Opción 03
VAN ECONOMICO	US \$	215 466	324 299	269 707
VAN FINANCIERO	US \$	210 102	318 948	266 669
TIR	%	105	146	201
R	AÑOS	0	0	0

El VAN se ha calculado con una tasa de actualización de 15%.

Los resultados expresan una alta rentabilidad en el proceso de reciclaje de plásticos; más aún en la opción 03 donde la TIR es mayor que las otras opciones.

Las tres opciones muestran recuperación de capital en el primer año de operación.

4.10 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Las siguientes tablas muestran los estados de ganancias y pérdidas y flujos de caja para las opción 03 analizando variaciones en el precio de venta, costo de la materia prima y la cantidad de *scrap* procesado.

4.10.1 Disminución del precio de venta del *scrap*

La tabla 4.17 y la tabla 4.18 muestran el estado de ganancias y pérdidas y flujo de caja proyectado con una disminución del precio de venta del *scrap* de US\$ 0.35 a US\$ 0.20 por kg.

Tabla 4.17 Estado de ganancias y pérdidas proyectado

CONCEPTO	2005 US \$	2006 US \$	2007 US \$	2008 US \$	2009 US \$
VENTAS	130 080	130 080	130 080	130 080	130 080
COSTO DE VENTAS	52 882	52 882	52 882	52 882	52 882
UTILIDAD BRUTA	77 198	77 198	77 198	77 198	77 198
GASTOS ADMINISTRATIVOS	17 565	17 565	17 565	17 565	17 565
GASTOS DE VENTAS	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000
GASTOS FINANCIEROS	10 901	5 946	0	0	0
UTILIDAD ANTES DE IMP	47 732	52 687	58 633	58 633	58 633
IMPUESTO A LA RENTA	14 320	15 806	17 590	17 590	17 590
UTILIDAD NETA	33 413	36 881	41 043	41 043	41 043

Tabla 4.18 Flujo de caja proyectado

CONCEPTO	2004 US \$	2005 US \$	2006 US \$	2007 US \$	2008 US \$	2009 US \$
INGRESOS						
Ventas	0	130 080	130 080	130 080	130 080	130 080
TOTAL INGRESOS	0	130 080	130 080	130 080	130 080	130 080
EGRESOS						
Inversiones	54 503	0	0	0	0	0
Costos de Fabricación						
Mano de Obra		9 707	9 707	9 707	9 707	9 707
Materia Prima		33 516	33 516	33 516	33 516	33 516
Costos indirectos de Fab		19 826	19 826	19 826	19 826	19 826
Costos de Operación						
Gastos Administrativos		17 565	17 565	17 565	17 565	17 565
Gastos de ventas		1 000	1 000	1 000	1 000	1 000
Imprevistos		1 800	1 800	1 800	1 800	1 800
Impuestos		14 320	15 806	17 590	17 590	17 590
TOTAL EGRESOS	54 503	87 567	89 053	90 837	90 837	90 837
FC ECONOMICO	-54 503	42 513	41 027	39 243	39 243	39 243
Prestamos	54 503	0	0	0	0	0
Amortización		24 774	29 729	0	0	0
Intereses		10 901	5 946	0	0	0
FC FINANCIERO	0.0	6 838.4	5 352.0	39 242.9	39 242.9	39 242.9

Los resultados de la evaluación económica para este caso serían los presentados en la tabla 4.19.

Tabla 4.19 Resultados de la evaluación económica

VAN Económico (US\$)	VAN Financiero (US\$)	TIR (%)	R (años)
70 642	67 604	70	0

Si comparamos los resultados de la tabla 4.16 con los resultados de la tabla 4.19 observamos que el VAN, tanto económico y financiero, disminuyen en aproximadamente 74%. La TIR disminuye de 201 a 70% y el tiempo de recuperación del capital se mantiene. Por lo tanto el negocio sigue siendo rentable.

4.10.2 Disminución de la cantidad de *scrap* procesado

En las tablas 4.20 y 4.21 se analiza la variación de los estados de ganancias y pérdidas y flujo de caja proyectado respectivamente, considerando la disminución de la cantidad de *scrap* plástico procesado de 54 200 a 20 000 kg mensuales debido a la disminución de la materia prima disponible, lo cual trae consigo una disminución en la ventas.

Tabla 4.20 Estado de ganancias y pérdidas proyectado

CONCEPTO	2005 US \$	2006 US \$	2007 US \$	2008 US \$	2009 US \$
VENTAS	84 000	84 000	84 000	84 000	84 000
COSTO DE VENTAS	31 326	31 326	31 326	31 326	31 326
UTILIDAD BRUTA	52 674	52 674	52 674	52 674	52 674
GASTOS ADMINISTRATIVOS	17 565	17 565	17 565	17 565	17 565
GASTOS DE VENTAS	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000
GASTOS FINANCIEROS	6 589	3 594	0	0	0
UTILIDAD ANTES DE IMP	27 519	30 515	34 109	34 109	34 109
IMPUESTO A LA RENTA	8 256	9 154	10 233	10 233	10 233
UTILIDAD NETA	19 264	21 360	23 876	23 876	23 876

Tabla 4.21 Flujo de caja proyectado

CONCEPTO	2004 US \$	2005 US	2006 US \$	2007 US \$	2008 US \$	2009 US \$
INGRESOS						
Ventas	0	84 000	84 000	84 000	84 000	84 000
TOTAL INGRESOS	0	84 000	84 000	84 000	84 000	84 000
EGRESOS						
Inversiones	32 947	0	0	0	0	0
Costos de Fabricación						
Mano de Obra		9 707	9 707	9 707	9 707	9 707
Materia Prima		12 360	12 360	12 360	12 360	12 360
Costos indirectos de Fab		9 259	9 259	9 259	9 259	9 259
Costos de Operación						
Gastos Administrativos		17 565	17 565	17 565	17 565	17 565
Gastos de ventas		1 000	1 000	1 000	1 000	1 000
Imprevistos		1 800	1 800	1 800	1 800	1 800
Impuestos		8 256	9 154	10 233	10 233	10 233
TOTAL EGRESOS	32 947	59 947	60 846	61 924	61 924	61 924
FC ECONOMICO	-32 947	24 053	23 154	22 076	22 076	22 076
FC FINANCIERO	0	2 488	1 589	22 076	22 076	22 076

Los resultados de la evaluación económica se muestran en la tabla 4.22

Tabla 4.22 Resultados de la evaluación económica

VAN Económico (US\$)	VAN Financiero (US\$)	TIR (%)	R (años)
37 904	36 068	65	0

Como se puede observar en este caso, la opción 03 sigue siendo rentable como lo indican los criterios económicos evaluados.

4.10.3 Aumento del costo de la materia prima

En las tablas 4.23 y 4.24 se analiza el aumento del costo de la materia prima en un 100%, es decir de US\$ 0.05 a US\$ 0.10.

Tabla 4.23 Estado de ganancias y pérdidas proyectado

CONCEPTO	2005 US \$	2006 US \$	2007 US \$	2008 US \$	2009 US \$
VENTAS	227 640	227 640	227 640	227 640	227 640
COSTO DE VENTAS	86 398	86 398	86 398	86 398	86 398
UTILIDAD BRUTA	141 242	141 242	141 242	141 242	141 242
GASTOS ADMINISTRATIVOS	17 565	17 565	17 565	17 565	17 565
GASTOS DE VENTAS	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000
GASTOS FINANCIEROS	17 604	9 602	0	0	0
UTILIDAD ANTES DE IMP	105 073	113 075	122 677	122 677	122 677
IMPUESTO A LA RENTA	31 522	33 922	36 803	36 803	36 803
UTILIDAD NETA	73 551	79 152	85 874	85 874	85 874

Tabla 4.24 Flujo de caja proyectado

CONCEPTO	2004 US \$	2005 US \$	2006 US \$	2007 US \$	2008 US \$	2009 US \$
INGRESOS						
Ventas	0	227 640	227 640	227 640	227 640	227 640
TOTAL INGRESOS	0	227 640	227 640	227 640	227 640	227 640
EGRESOS						
Inversiones	88 019	0	0	0	0	0
Costos de Fabricación						
Mano de Obra		9 707	9 707	9 707	9 707	9 707
Materia Prima		67 432	67 432	67 432	67 432	67 432
Costos indirectos de Fab		9 259	9 259	9 259	9 259	9 259
Costos de Operación						
Gastos Administrativos		17 565	17 565	17 565	17 565	17 565
Gastos de ventas		1 000	1 000	1 000	1 000	1 000
Imprevistos		1 800	1 800	1 800	1 800	1 800
Impuestos		31 522	33 922	36 803	36 803	36 803
TOTAL EGRESOS	88 019	138 285	140 686	143 566	143 566	143 566
FC ECONOMICO	-88 019	89 355	86 954	84 074	84 074	84 074
Prestamos	88 019	0	0	0	0	0
Amortización		40 009	48 010	0	0	0
Intereses		17 604	9 602	0	0	0
FC FINANCIERO	0	31 742	29 342	84 074	84074	84074

Tabla 4.25 Resultados de la evaluación económica

VAN Económico (US\$)	VAN Financiero (US\$)	TIR (%)	R (años)
174 417	169 511	96	0

El proyecto sigue siendo rentable aunque los valores de VAN disminuyen en un 35%, la TIR también disminuye de 201% a 96% y el tiempo de recuperación de la inversión se mantiene, lográndose recuperación desde el primer año de operación.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- a. Los residuos recuperados provienen generalmente del botadero municipal, de allí su alto grado de contaminación, lo cual influiría en la calidad del producto final, por ello es necesario la implementación de programas de recojo en las fuentes de generación de los residuos lo que lleva implícito un cambio de conciencia sobre el manejo de la basura en la población.
- b. El reciclaje de plásticos en la ciudad de Piura no se encuentra desarrollado en su totalidad, se llega a la etapa de molienda sin lavado obteniendo un *scrap* sucio.
- c. En la cadena de comercialización de los residuos plásticos existen varios intermediarios que los venden en otras ciudades para su posterior transformación, lo cual incrementa el precio de estos residuos. Con la introducción de una fábrica de *scraps* plásticos la venta de estos residuos sería directa, mejorando la calidad de vida y fomentado la formalidad de estos microempresarios.
- d. La separación de los plásticos es la etapa más complicada, ya que de esto dependerá la calidad del producto, es necesario una recolección diferenciada orientada a la generación de desperdicios de la misma especie o bien mezclas de productos con composiciones constantes.
- e. El reciclaje mecánico es la mejor alternativa para la gestión de estos residuos, ya que el reciclaje químico tiene muchas limitaciones de tipo económico y técnico en nuestro país.
- f. Los materiales plásticos con mayor demanda en el mercado nacional e internacional son el PET, el HDPE y el PP según conversaciones con recicladores e importadores de material reciclado; cabe señalar que entre éstos, el material con mayor demanda es el *scrap* de PET.
- g. El *scrap* es un producto que al igual que el *pellet* se puede utilizar como materia prima para la fabricación de distintos productos como artículos para el hogar, oficina, textiles, etc.
- h. Las propiedades de los plásticos reciclados deben ser analizadas ya que éstas disminuyen en un 5 a 10% cada vez que se recicla el material. Una alternativa es utilizarlo en combinación con material virgen.
- i. El *scrap* plástico obtenido con la maquinaria propuesta ofrece iguales alternativas de fabricación de producto terminado que el *pellet* obtenido de plástico reciclado. Dependiendo de la calidad pueden ser transformados en productos como tuberías, bancas, bateas, recipientes, artículos de oficina, etc.
- j. Según los criterios económicos evaluados la mejor opción es la opción 03 por la alta rentabilidad que ofrece para el procesamiento de los residuos plásticos de PET, esto se debe también a la menor inversión en maquinaria.

- k. El análisis de sensibilidad de la opción 03 demuestra que la disminución del precio de venta, la disminución de la disponibilidad de materia prima y el aumento del costo de la materia prima mantienen la propuesta de negocio rentable, aunque el VAN y la TIR disminuyan.
- l. Capacitar a los recolectores en lo referente a la clasificación de los residuos plásticos para optimizar la recolección diferenciada y el uso de artículos de seguridad.
- m. Se recomienda la implementación de un programa de reciclaje y segregación en la fuente de generación (hogares, establecimientos comerciales, etc), como alternativa para el recojo de residuos plásticos en forma eficiente.
- n. Establecer alianzas con los recuperadores para el mejor abastecimiento de residuos plásticos.
- o. Exportar el *scrap* es una buena alternativa ya que el mercado exterior ofrece precios más atractivos, además la maquinaria a utilizar garantiza un producto de calidad.
- p. Debe pensarse en la valorización de los residuos plásticos, es decir, en un aprovechamiento integral en reciclado mecánico, químico y recuperación de energía como una alternativa de gestión a mediano plazo; ya que con la introducción del gas de Camisea se espera la aparición de industrias petroquímicas.
- q. Debe coordinarse con los fabricantes nacionales la impresión del código SPI de reciclaje para facilitar la clasificación de los materiales plásticos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Callister, William D. Jr. Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los materiales. Editorial Reverté S.A. 3ra edición. 1995.
- [2] Askeland, Donald R. Ciencia e Ingeniería de los materiales. Internacional Thomson Editores. 3ra edición. 1998.
- [3] Smith, William F. Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de los materiales. Mc Graw Hill. 2da edición. 1992.
- [4] Instituto do PVC. Brasil. www.institutodopvc.org
- [5] Determination of Residual Vinyl Chloride and Vinylidene Chloride in Food Packages Containing Polyvinyl Chloride and Saran TM Resins FDA. www.fda.org. 2002
- [6] Sandretto a Cannon Company. Italia. www.sandretto.it
- [7] Comité de Plásticos. Sociedad Nacional de Industrias. Guía de la industria plástica GIP 2002. AM Business. 2da edición. Lima, Perú. 2002.
- [8] Comité de Plásticos de la Sociedad Nacional de Industrias. La industria plástica en el Perú Medio Siglo de Historia. DESA S.A. Perú. 2000.
- [9] Industria Peruana. N° 754. Pag. 40-41. Perú. 2002
- [10] Diario Gestión. Sección Negocios. Perú. 18 de junio del 2003
- [11] Sociedad Nacional de Industrias. Perú. www.sni.org.pe. Noticias 02 de octubre del 2002.
- [12] Luna, Hebert F. Manual Mc Graw Hill de Reciclaje. Mc Graw Hill. 2da edición. 1996.
- [13] Plastivida Argentina. www.plastivida.com.ar. Boletín Técnico Informativo. N°5. pág. 4-14. 1999
- [14] Timaná Silva, Victor Ricardo. Estudio de caracterización de los residuos sólidos urbanos de los distritos de Piura y Castilla. Tesis Universidad Nacional de Piura. 1996.
- [15] IPES Promoción del desarrollo sostenible. Guía para el reciclaje de plásticos. IPES, COSUDE, PGU-LAC. 1ra edición. Lima, Perú. 1996
- [16] Lanchipa Merino, Cesar Augusto. Estudio tecnológico para la instalación de una planta de reciclaje de plásticos. Tesis Universidad de Lima. 1993
- [17] Mestres Quadreny, Ramón. Contaminación ambiental por sustancias orgánicas. Curso de actualización profesional. Universidad de Piura. 2001.

- [18] Chávez, Jorge; Laos, Roberto; Rospigliosi, Carla; Nakamatsu Javier; Concreto Polimérico a partir de Botellas Descartables, CONCIENCIA (Agencia Universitaria de Periodismo Científico- PUCP). Lima, Perú. 2002.
- [19] Programa Oficial del XXVI Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. pag 1-14. Lima, Perú. 1998
- [20] IPES Promoción del desarrollo sostenible. Mecanismos para el funcionamiento de bolsas de residuos como un aporte a la gestión ambiental. IPES. 1ra edición. Lima, Perú. 2002.
- [21] IPES Promoción del desarrollo sostenible. Rescatando Vida. IPES. 1ra edición. Lima, Perú. 1996
- [22] Municipalidad Provincial de Piura. Dirección de Población, Salud y Saneamiento Ambiental. Resumen recolección de residuos sólidos- Piura. 2000 - 2003
- [23] Seibt. Brasil. Cotización 145/2003. Diciembre 2003
- [24] Seibt. Brasil. Cotización 001/2004. Enero 2004
- [25] Organismo Supervisor de la Inversión Privada en Energía (OSINERG). www.osinerg.gob.pe
- [26] Diario El Peruano. Normas Legales. Pág 218606. Sábado 02 de marzo del 2002.
- [27] Ley General de Residuos Sólidos (Ley N° 27314). 21 de julio del 2000.
- [28] Noble Equipment & Services S.A.C. Lima, Perú. Enero 2003. (Cotización).
- [29] Lanegra Quispe, Iván; Irigoyen Montestruque, Cecilia; Zavala Correa, Rosa. Marco Legal de la Gestión de los Residuos Sólidos en el Perú. Itaca Ediciones. 1998.
- [30] Sociedad Nacional de Industrias. www.sni.org.pe. Noticias. 11 de junio del 2003.
- [31] Plastivida Argentina. www.plastivida.com.ar. Boletín Técnico Informativo. N° 2. 1993
- [32] Tchobanoglous, George; Theisen, Hillary; Vigil, Samuel. Gestión Integral de los residuos sólidos. Mc Graw Hill. 1998
- [33] Municipalidad Provincial de Piura. Carta #21-2003-CCC-DPYS. 2003
- [34] Superintendencia Nacional de Administración Tributaria. www.aduanet.gob.pe