

PROCESOS TECNOLÓGICOS DE RECICLAJE MECÁNICO DE PLÁSTICOS

TECHNOLOGICAL PROCESSES OF MECHANICAL RECYCLING OF PLASTICS

Dr. C. Eduardo Torres Alpízar (0000-0001-9573-3159), Universidad de Matanzas

eduardo.torres@umcc.cu

Dr. C. Jesús González González (0009-0009-4093-5621)

Resumen

Cuando se describen las tecnologías de recuperación de los residuos plásticos, se hace referencia a estrategias integrales de tratamiento industrial que incluyen diferentes procesos tecnológicos; todos ellos conducentes a preservar estos materiales para la posterior reutilización como materia prima de otros procesos industriales. Sin duda el reciclado mecánico es, de estos procesos tecnológicos, el más difundido en el mundo, pero insuficiente por sí solo para garantizar el procesamiento de la totalidad de los residuos plásticos. Generalmente forma parte de cualquier tecnología de reciclado de dichos materiales. El objetivo del trabajo consiste en describir particularidades distintivas del proceso de reciclado mecánico de plásticos.

Palabras claves: molino; residuos plásticos; polímeros; reciclado mecánico

Summary

When plastic waste recovery technologies are described, reference is made to comprehensive industrial treatment strategies that include different technological processes; all of them leading to preserving these materials for their subsequent reuse as raw materials for other industrial processes. Without a doubt, mechanical recycling is, of these technological processes, the most widespread in the world. Mechanical recycling is insufficient on its own to guarantee the processing of all plastic waste, but it is generally part of any recycling technology for these materials. The objective of this work is to describe distinctive features of the mechanical plastic recycling process.

Keywords: plastic waste, polymers, mechanical recycling, mill



Monografías 2023
Universidad de Matanzas © 2023
ISBN: 978-959-16-5074-0

Cada año se producen en todo el mundo unos 400 millones de toneladas de plástico. Al finalizar su vida útil los desechos de plásticos contaminan los cursos de agua, acuíferos, los océanos e incrementan las áreas de vertederos. La incineración de plásticos que contienen desechos electrónicos libera olores nocivos, gases nocivos, e hidrocarburos venenosos. Las opciones para reciclar residuos plásticos incluyen reciclaje de materias primas, reciclaje mecánico de estos materiales, su recuperación y uso como fuente de energía industrial, empleo como aditivo en materiales de la construcción, relleno en cimentaciones, etc. (Devasahayam, Raju, Hussain, 2019), (Bolet, 2019).

Si bien el reciclaje ha sido reconocido como la solución preferida para el manejo de desechos plásticos, se sabe poco sobre las características detalladas de los residuos plásticos y cómo éstas pueden afectar su reciclaje. En un estudio realizado por (Faraca, Astrup, 2019), se tomaron muestras de residuos de plástico duro, películas de plástico y PVC recolectados en tres centros de reciclaje daneses y se caracterizaron según las aplicaciones de los productos, los requisitos de calidad, la vida útil esperada del producto, los tipos de polímeros y la presencia de posibles impurezas como plásticos coloreados, materiales no plásticos y productos multipolímeros. La información obtenida se aplicó para la estimación del reciclaje general.

Además de proporcionar datos detallados sobre la composición de los productos de desecho plástico, los resultados mostraron que las impurezas representaron el 28% (peso húmedo) de los residuos plásticos, y que alrededor del 75% de los residuos plásticos se caracterizaron como de baja calidad, lo que indicaba limitaciones técnicas para su recuperación. Teniendo en cuenta el nivel y tipo de impurezas, se encontró que el potencial de reciclaje general era del 52% para materiales plásticos duros, el 59% para películas plásticas y el 79% para residuos de PVC. Los resultados mostraron que si bien varían según el tipo de polímero, la reciclabilidad de los residuos plásticos de "alta calidad" fue entre un 12% y un 35% mayor que los de "baja calidad" (Faraca, Astrup, 2019).

La contaminación por plástico es un gran problema que ha ido creciendo día a día, ya que la humanidad se ha vuelto más consumista. El plástico tarda aproximadamente entre 100 a 1000 años en degradarse y las botellas de plástico específicamente alrededor de los 500 años (Tapia, 2018). Es por eso, que en la búsqueda de reutilizar todo el plástico generado nace la industria del reciclaje donde se ocupan máquinas procesadoras de plástico.

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.

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, absorbedores de luz ultravioleta y cargas.

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. (Torres, 2019)

De acuerdo a (Torres, 2019) Cuando hablamos de valorización de los residuos plásticos nos referimos a una estrategia integral de tratamiento que abarca diferentes procesos, todos ellos conducentes a preservar la materia prima para que su destino final no sea un relleno sanitario.

A diferencia del proceso de reciclaje de vidrio, papel y metal, que es relativamente sencillo, tal y como plantea (Tapia, 2018) , el reciclaje de plástico es un poco más complicado, debido a que existen muchos tipos de plásticos y no se pueden mezclar un tipo de material polimérico con otro, porque dejarían de ser reciclables, ya que disminuiría enormemente la calidad del producto; razón por la cual, para poder clasificar y reciclar eficientemente este tipo de material, se requiere conocer sobre los principales polímeros y sus aplicaciones, entre otros aspectos importantes.

En (Torres, 2019) se describe como buscando una rápida identificación, se ha diseñado una codificación de las resinas utilizadas en la fabricación de artículos de plástico. La idea es imprimir o marcar en el artículo, en su embalaje o en un rótulo, el código correspondiente a la resina utilizada, o a las dominantes en caso de que se trate de una mezcla, de acuerdo con el sistema presentado en la Figura 1. La situación mejor es la de grabar el código en el producto mismo en los casos que sea posible, para evitar contaminar con tinta el material. Esto es aplicable cuando existen moldes o paredes gruesas, pero es muy difícil en láminas finas.

Este sistema fue desarrollado por la Sociedad de Industria del Plástico (SPI) para ayudar a los recicladores a identificar y separar los plásticos manualmente, mientras se logra idear un sistema automático que cumpla esta tarea.



Figura 1: Sistema Internacional de Codificación de Plásticos (Código SPI). (Torres, 2019)

Sin duda el reciclado mecánico es, de estos procesos, el más difundido en la opinión pública en el mundo. Sin embargo, el reciclado mecánico es insuficiente por sí solo para dar cuenta de la totalidad de los residuos.

El reciclado mecánico de los plásticos presenta algunas particularidades distintivas que se establecieron por (Soto, 2022).

Definición: El reciclado mecánico es un proceso físico-mecánico mediante el cual el plástico post-consumo o el industrial (scrap) es recuperado, permitiendo su posterior utilización.

Procedencia: ¿De dónde provienen los plásticos que son reciclados mecánicamente?

Principalmente de dos grandes fuentes: Los residuos plásticos provenientes de los procesos de fabricación, es decir, los residuos que quedan al pie de máquina, tanto en la industria petroquímica como en la transformadora. A esta clase de residuos se la denomina scrap (escamas). El scrap, en general, es más fácil de reciclar porque está limpio y es homogéneo en su composición, ya que no está mezclado con otros tipos de plásticos. Algunos procesos de transformación (como el termoformado y soplado) generan scrap, que normalmente se recicla automáticamente en la misma fábrica y en forma automática, de lo contrario el proceso no sería económico.

Los residuos plásticos provenientes de la masa de Residuos Sólidos Urbanos (**RSU**). Estos se dividen a su vez en tres clases:

1. Residuos plásticos de tipo simple: han sido clasificados y separados entre sí los de distintas clases;
2. Residuos mixtos: los diferentes tipos de plásticos se hallan mezclados entre sí;
3. Residuos plásticos mixtos combinados con otros residuos: papel, cartón, metales, etcétera.

A su vez los **RSU** se pueden clasificar de acuerdo a su origen:

- Domiciliario: Originado en los hogares, departamentos o casas.
- Comercial: Generado por los comercios ya sean minoristas o mayoristas.
- Institucional: Generado por las oficinas, hoteles e instituciones.
- Industrial: Generado por la industria.
- Otros: Áridos (escombros de construcción), restos de poda y corte de pasto.

Detengámonos ahora en el proceso de reciclado de residuos plásticos provenientes de los residuos sólidos urbanos.

Para acceder a una rápida comprensión vamos a servirnos del siguiente diagrama de flujo:

Principales etapas para producir plástico granulado

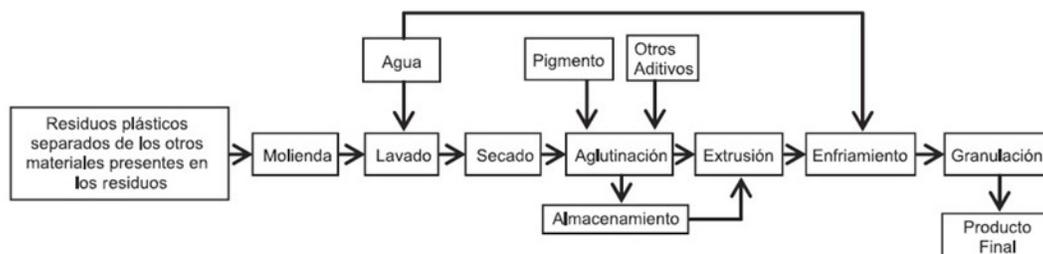
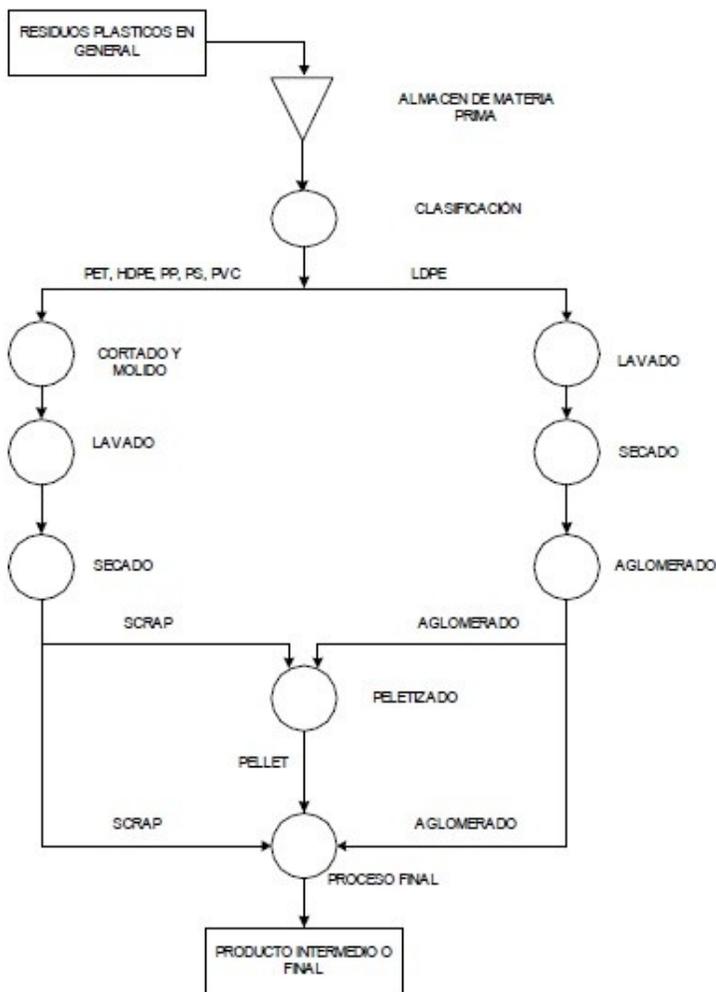


Fig. 1. Diagrama de flujo simplificado de un proceso de reciclaje mecánico para producir plástico reciclado granulado (Ecoplast, 2011)

De acuerdo a (Bolaños, 2019) 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, absorbedores de luz ultravioleta y cargas.

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 la Figura 2 se presenta un diagrama de flujo del proceso de reciclado propuesto por esta publicación (Soto, 2019).

Fig.2 Diagrama de flujo del proceso de reciclaje de plásticos propuesto en (Soto, 2019)

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.

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

El proceso de clasificación puede llevarse a cabo en forma manual o mecanizado (Torres, 2019).

Manual: 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.

Mecanizado: 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.

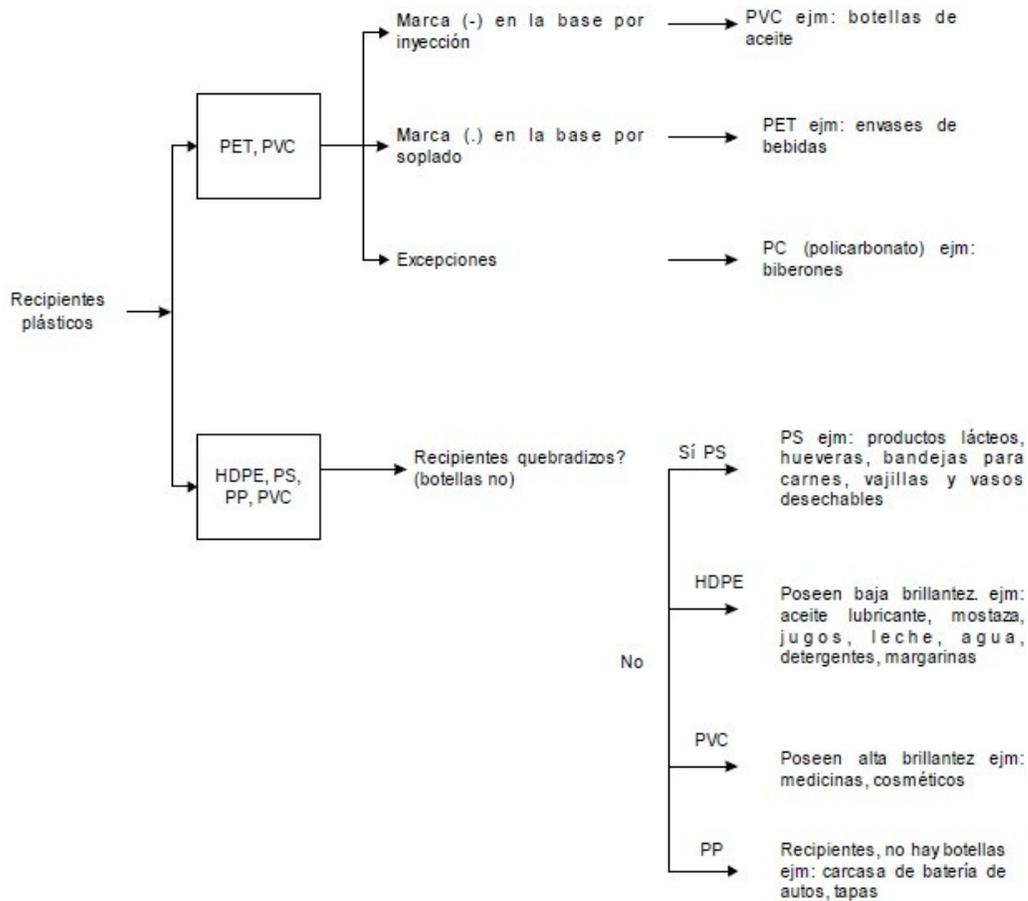
La clasificación se realiza de acuerdo a ciertas consideraciones necesarias para un adecuado procesamiento, las mismas que permitirán obtener productos de mejor aceptación en el mercado.

- Por el tipo de polímero: De acuerdo a la clasificación de la Sociedad de Industria del Plástico (SPI).
- Por el proceso de manufactura: 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 Figura 3 muestra la forma en que se puede llevar a cabo la clasificación mediante este proceso de acuerdo a la metodología descrita en (Soto, 2019).

Fig.3 Proceso de clasificación de plásticos por observación visual (Soto, 2019)



- Por colores (Soto, 2019)

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:

- El rasgado (Soto, 2019)

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 (Soto, 2019)

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 (Soto, 2019)

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. (Soto, 2019)

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 (Soto, 2019)

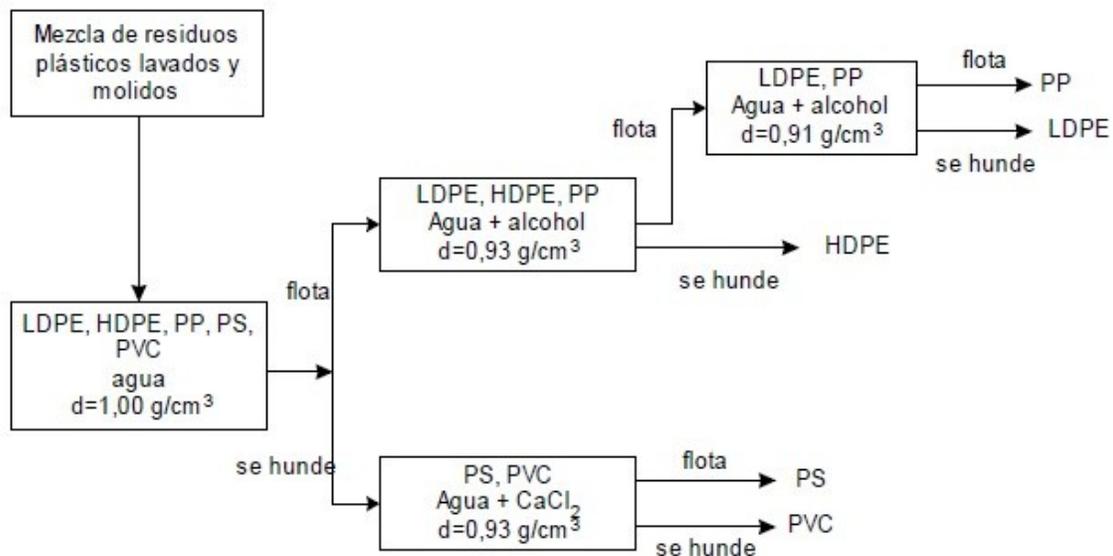
Esta técnica, cuyo diagrama de flujo se muestra en la Figura 4 (Soto, 2019), permite diferenciar los tipos de plásticos según su densidad. Se emplean varios líquidos de flotación con densidades, ajustadas mediante sales o alcoholes, intermedias entre diferentes clases de plásticos. Los plásticos que 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.

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).

Fig.4. Esquema Teórico del Método Hunde – Flota para separar mezclas de residuos plásticos (Soto, 2019).



B. Cortado y molido del plástico en pequeños trozos (scraps) (Soto, 2019)

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.

C. Molienda (Bolaños, 2019)

Los plásticos cortados son reducidos de tamaño en un molino, obteniéndose hojuelas de plástico conocidas como scraps (escamas), 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 (escamas) del molino de plástico.

D. Lavado (Bolaños, 2019)

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.

E. Secado (Bolaños, 2019)

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.

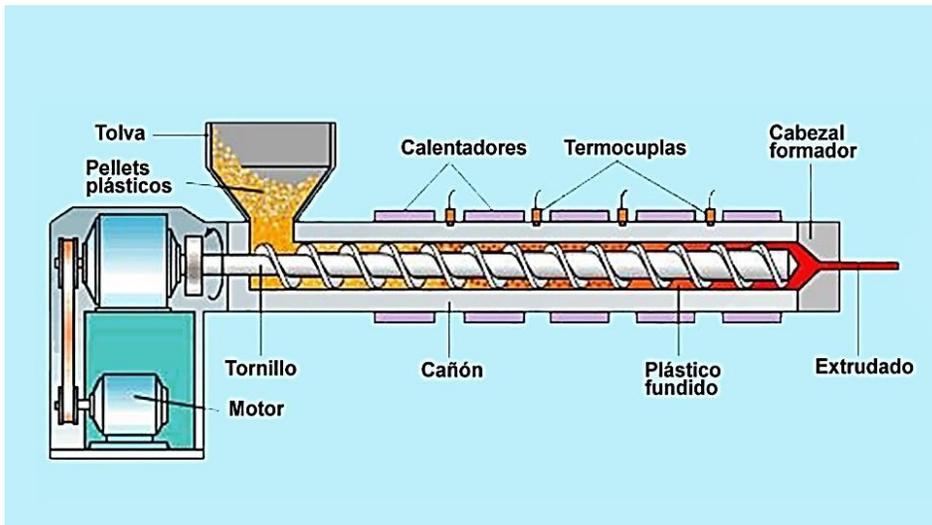
F. Aglomerado (Bolaños, 2019)

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.

G. Peletizado (Bolaños, 2019)

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 (ver Figura 5), 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

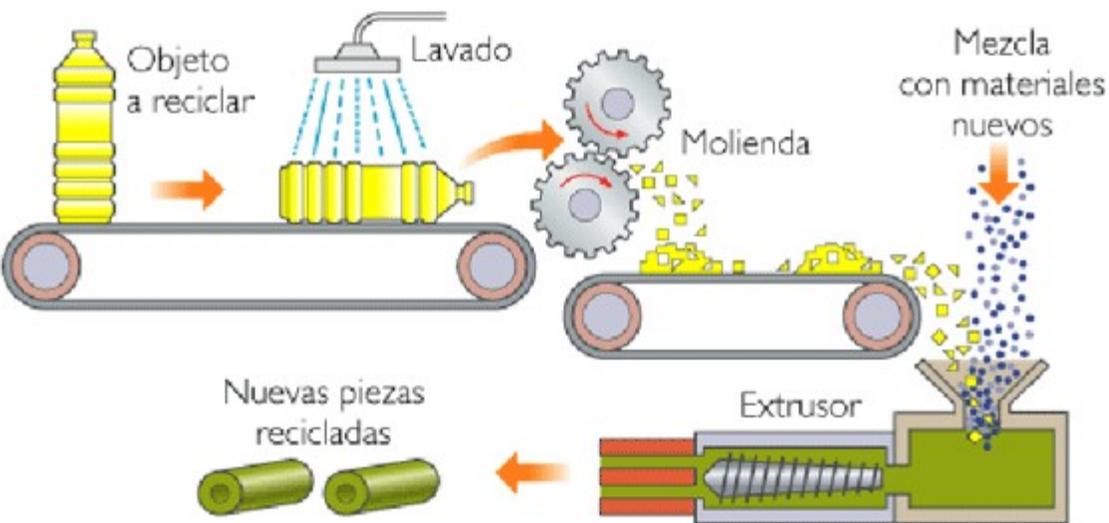


combinado de la fricción producida por el flujo y de las bandas de calefacción suplementarias provoca la fundición de la resina, extrayéndose de la mezcla los contaminantes volátiles. Inmediatamente antes de la boquilla, la mezcla fundida pasa a través de una malla fina que separa las impurezas sólidas 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.

Fig.5. Esquema simplificado de una instalación de extrusión para la obtención de pellets a partir de plásticos reciclados. (Bolaños, 2019).



H. Procesos de moldeo (Torres, 2019)

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.

Un ejemplo gráfico simplificado de una instalación de reciclado de plástico PET (Polietileno Tereftalato) se muestra en la Figura 6 (Bolaños, 2019).

Fig. 6. Proceso del Reciclaje Mecánico del PET (Bolaños, 2019)

De acuerdo a (Vogt, Stokes, Kumar, 2021), en el desarrollo de nuevas tecnologías para el reciclaje de plástico es necesario tener en cuenta las complejidades de los residuos plásticos; ya que los diferentes aditivos pueden afectar negativamente a la calidad del producto reciclado o el proceso de reciclaje en sí, especialmente para reciclaje químico. La eliminación a bajo costo de estos compuestos o la comprensión de la influencia de sus interacciones en sus propiedades mecánicas, o del rendimiento del catalizador para los plásticos reciclados tanto por los métodos mecánicos y químicos, respectivamente, serían en gran medida un beneficio para la capacidad de producir plásticos reciclados de alto rendimiento.

El reemplazo de Los plásticos no necesariamente tendrá un impacto positivo en el medio ambiente. Materiales de embalaje alternativos, como el vidrio o contenedores metálicos, son mucho más pesados y aumentan las emisiones de CO₂ durante el transporte. Las 260 megatoneladas de plástico de residuos plásticos producidos anualmente son perjudiciales para los ecosistemas. Cuando se incineran los plásticos se liberan al medio ambiente CO₂ y otros gases contaminantes y de efecto invernadero, lo que contribuye al cambio climático. La masa de las emisiones de CO₂ equivale a tres veces la masa del plástico incinerado. Por lo tanto, los residuos plásticos contienen un potencial elevado de CO₂ (Vollmer, et al., 2020).

En (Pérez, González, Pérez, 2019) se realiza un estudio profundo de materiales plásticos reciclados obtenidos en la provincia de Holguín. Según estos autores, el reciclado de plásticos en Cuba se encuentra en una etapa incipiente. Se focaliza en el reciclado de los propios desechos industriales de empresas transformadoras de plásticos y trabajos investigativos de algunos centros de investigación como las universidades de Holguín, La Habana y Las Villas. Su principal limitación es la no existencia de tecnologías avanzadas para este fin.

En este sentido, en (Pérez, González, Pérez, 2019) se analizan los sistemas actuales para reciclar plásticos en Holguín, y se propone un procedimiento para el reciclado mecánico de los residuos plásticos. Los ensayos para caracterizarlos, que permiten controlar la calidad de los mismos, a la vez sirven de retroalimentación para establecer las correcciones y mejoras necesarias, y así optimizar la calidad de los productos. Este trabajo demuestra que con inversiones relativamente poco costosas

es posible desarrollar el reciclado mecánico en todas las entidades de la Unión de Empresas de Materias Primas de la República de Cuba.

Referencias bibliográficas

Bolaños, J.J.G. (2019). Reciclado de plástico PET. Universidad Católica San Pablo. Arequipa. Tesis de Grado. 56 pp

Botet Latre, A. (2019). Estudio de los plásticos como material de reciclado para la obtención de material de construcción. Universidad Politécnica de Valencia. Tesis de Grado. 32 pp.

Devasahayam, S., Raju, G. B., & Hussain, C. M. (2019). Utilization and recycling of end-of-life plastics for sustainable and clean industrial processes including the iron and steel industry. *Materials Science for Energy Technologies*, 2(3), 634-646.

Faraca, G., & Astrup, T. (2019). Plastic waste from recycling centres: Characterization and evaluation of plastic recyclability. *Waste Management*, 95, 388-398.

Ecoplast. Manual de valorización de los residuos plásticos. Buenos Aires. 5a Edición Ampliada y Actualizada. 2011. 154 pp.

Pérez, A., González, Y., Pérez, M. (2019). Propuesta de un procedimiento para el reciclado mecánico de los desechos sólidos plásticos en Holguín. 9na Conferencia Científica Internacional. Universidad de Holguín. 8 pp.

Soto Medina, J. M. (2022). Reciclado mecánico del material plástico procedente de la fracción resto de las plantas de tratamiento de residuos sólidos urbanos [Info:eu-repo/semantics/doctoralThesis, Universidad de Granada]. <http://hdl.handle.net/10481/72461>

Tapia Lemos, J. D. (2018). Diseño de una compactadora horizontal de plástico reciclado para el

- centro de reciclaje REIPA. Universidad San Francisco De Quito. Tesis de Grado. 121 pp.
- Torres Alpizar, E. (2019) Consideraciones generales del proceso de clasificación de residuos plásticos mediante el código internación al “SPI”. Monografía. CDICT. UMCC. ISBN: 978 - 959 - 16 - 4317 – 9
- Vogt, B. D., Stokes, K. K., & Kumar, S. K. (2021). Why is recycling of postconsumer plastics so challenging? ACS Applied Polymer Materials, 3(9), 4325-4346.
- Vollmer, I., Jenks, M. J., Roelands, M. C., White, R. J., van Harmelen, T., de Wild, P., van Der Laan, G. P., Meirer, F., Keurentjes, J. T., & Weckhuysen, B. M. (2020). Beyond mechanical recycling: Giving new life to plastic waste. Angewandte Chemie International Edition, 59(36), 15402-15423.