

Artículo Científico

Desarrollo y aplicación de equipos caseros para la recuperación mecánica de plásticos

Development and application of homemade equipment for the mechanical recovery of plastics

 Roberto Carlos Berdeja Zambrana¹  José Carlos Colque Ayaviri²¹ Coordinador de la U.P.I en ingeniería aplicada, Departamento de Electromecánica, Universidad Privada del Valle, Cochabamba, Bolivia. Correo Electrónico: rberdejaz@univalle.edu² Estudiante, Departamento de Electromecánica, Universidad Privada del Valle, Cochabamba, Bolivia. Correo Electrónico: caj2018187@est.univalle.edu

RESUMEN

La acumulación de desechos plásticos ha alcanzado niveles alarmantes a nivel global, siendo Cochabamba una de las ciudades más afectadas en Bolivia. Según informes del 2019 y estudios de la WWF (World Wildlife Fund), esta ciudad genera más basura plástica que otros cuatro departamentos combinados, destacando la necesidad de soluciones efectivas. En este contexto, el presente trabajo evalúa la funcionalidad de dos equipos caseros desarrollados en el Centro de Investigación en Ingeniería Aplicada (CIIA) de la Universidad Privada del Valle: una picadora y una extrusora de plástico, diseñadas para la recuperación mecánica de residuos plásticos.

La metodología consiste en operar estos equipos de manera complementaria. La picadora utiliza un sistema de cuchillas (una fija y otra móvil), acopladas a un motorreductor de 40:1 con un motor de 1 HP, para triturar plásticos en fragmentos pequeños. La extrusora, por su parte, emplea un husillo en un cañón calentado por resistencias eléctricas que operan entre 0 y 280 °C, produciendo filamentos cuyo diámetro varía según la boquilla utilizada. También se considera un sistema opcional para bobinar filamentos reciclados.

Los productos obtenidos incluyen filamentos para impresión 3D, pellets y tabloncillos moldeados, derivados de materiales triturados y procesados térmicamente. Este proceso demuestra que, con máquinas caseras, es posible reutilizar diversos plásticos, reducir su impacto ambiental y facilitar su almacenamiento o transporte cuando no son reciclables. Así, se fomenta una economía circular accesible para usuarios que deseen fabricar estos equipos y se evita que plásticos reciclables lleguen al botadero de Kara Kara de la ciudad de Cochabamba - Bolivia.

Palabras clave: Recuperación de plástico, reciclaje mecánico, picadora casera, extrusora casera, economía circular.

ABSTRACT

The accumulation of plastic waste has reached alarming levels worldwide, and Cochabamba is among the most affected cities in Bolivia. Reports from 2019 and studies by the WWF (World Wildlife Fund) indicate that this city generates more plastic waste than four other departments combined, highlighting the urgent need for effective solutions.

Citar como: Berdeja Zambrana, R., Colque Ayaviri, J.C. Desarrollo y aplicación de equipos caseros para la recuperación mecánica de plásticos. *Journal Boliviano De Ciencias*, 21(57) 29-48. <https://doi.org/10.52428/20758944.v21i57.1323>

Recepción: 05/05/2025
Aprobación: 11/06/2025
Publicado: 30/06/2025

Declaración: Derechos de autor 2025 Berdeja Zambrana, R., Colque Ayaviri, J.C. Esta obra está bajo una licencia internacional [Creative Commons Atribución 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). Los autores/as declaran no tener ningún conflicto de intereses en la publicación de este documento.



In this context, this study evaluates the functionality of two homemade devices developed at the Research Center for Applied Engineering (CIIA) of the Universidad Privada del Valle: a plastic shredder and an extruder, designed for the mechanical recovery of plastic waste.

The methodology involves operating these devices in a complementary manner. The shredder uses a blade system (one fixed and one mobile), coupled to a 40:1 gear motor with a 1 HP motor, to grind plastics into small fragments. The extruder, in turn, employs a screw inside a barrel heated by electric resistors operating between 0 and 280 °C, producing filaments whose diameter varies depending on the nozzle used. An optional system for winding recycled filaments is also considered.

The resulting products include 3D printing filaments, pellets, and molded boards, derived from shredded and thermally processed materials. This process demonstrates that, with homemade machines, it is possible to reuse various plastics, reduce their environmental impact, and facilitate their storage or transportation when they are not recyclable. In this way, an accessible circular economy is promoted for users interested in manufacturing these devices, and recyclable plastics are prevented from ending up in the Kara Kara landfill in Cochabamba, Bolivia.

Keywords: Plastic recovery, mechanical recycling, homemade mincer, homemade extruder, circular economy.

1. INTRODUCCIÓN

El uso de plásticos ha crecido exponencialmente en las últimas décadas, con una tasa de incremento del 4% anual (Interempresas (2011)). La producción mundial de plásticos crece un 4 por ciento (PlasticsEurope). Su aplicación abarca diversas industrias, desde el embalaje y la construcción hasta la automoción y la electrónica.

Uno de los principales problemas en la gestión de residuos plásticos es la falta de infraestructuras adecuadas para su reciclaje y la ausencia de programas de recolección eficientes. Considérese como ejemplo el botadero de Kara Kara, ubicado en Cochabamba, en él se depositan diariamente entre 450 y 600 toneladas de residuos, de los cuales una gran proporción son plásticos (Empresa Municipal de Servicios de Aseo (EMSA); Los Tiempos (2024)). La acumulación de estos materiales no solo genera contaminación ambiental, sino que también representa un riesgo para la salud de la población circundante.

El reciclaje de plásticos es una necesidad urgente a nivel global debido a su impacto ambiental. En Bolivia, se recicla solo el 2.8% de los residuos sólidos generados anualmente, lo que ha llevado a la acumulación de desechos en botaderos municipales (Dirección General de Gestión Integral de Residuos Sólidos (DGGIRS) del Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA). (2011)). La falta de infraestructura y cultura de reciclaje agrava esta problemática. Este proyecto aborda la necesidad de una solución eficiente para el reciclado mecánico de plásticos, con un enfoque en su uso para impresión 3D.

2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

El objetivo principal de esta investigación es desarrollar un sistema de reciclaje mecánico de plásticos que permita la transformación de residuos en filamentos o pellets para impresoras 3D. Los objetivos específicos incluyen:

- Diseñar y construir un equipo de picado de plásticos mecánico.
- Estudiar las propiedades físicas y químicas del plástico a ser estudiado.
- Desarrollar un sistema de extrusión acorde al picado mecánico.
- Evaluar la calidad del plástico obtenido después del proceso.

3. MARCO TEÓRICO Y FUNDAMENTOS TÉCNICOS

El sistema desarrollado consta de dos componentes principales:

- 1) **Picadora de plástico:** Diseñada para triturar residuos en fragmentos pequeños y homogéneos.
- 2) **Extrusora:** Convierte los plásticos triturados en filamentos o pellets para su uso en impresión 3D.

Picadora de plástico

El diseño estructural se realizó mediante software CAD, asegurando resistencia mecánica y optimización del espacio. Se incluyó un buzón de extracción lateral para facilitar el proceso de vaciado. La picadora cuenta con un motor eléctrico de 4HP y cuchillas de acero templado capaces de cortar plásticos de alta y baja densidad.

Extrusora

El sistema de extrusión consiste en una tolva de alimentación, un tornillo sin fin dentro de un cañón calentado con resistencias circulares y un sistema de control térmico. Se evaluaron diferentes configuraciones de calentamiento, optando finalmente por el uso de termocuplas y resistencias tipo cinturón para mejorar la eficiencia térmica y la calidad del filamento producido.

Tabla 1: Componentes de la Picadora y Extrusora de plástico

Componente	Picadora de plástico	Extrusora de plástico
Motor	Motor de 1hp, acoplado a un reductor 40:1	Motor eléctrico con potencia ajustable
Sistema de cuchillas	Cuchillas fijas y móviles de acero al carbono	No aplica
Angulo de corte	15° - 30° para un mejor rendimiento de corte	No aplica
Transmisión	Por poleas y correas para mantener unas 300-600 rpm en cuchillas	Sistema de tornillo sin fin
Estructura/material	Acero inoxidable o acero al carbono	Acero al carbono
Sistemas de seguridad	Interruptores de parada de emergencia, cubiertas de seguridad	Protección térmica, sensores de temperatura y parada de emergencia
Mecanismo de Alimentación	Manual o automático	Tolva superior para alimentación controlada

Fuente: Elaboración propia

Clasificación de plásticos reciclados

Los plásticos se pueden clasificar en termoplásticos y termoestables, siendo los primeros los más adecuados para el reciclaje mecánico.

Tabla 2: Clasificación del tipo de plástico

Tipo de plástico	Reciclaje	Características	Ejemplos comunes
Polietileno Tereftalato	Alto	Transparente, liviano, alta resistencia química	Botellas de agua y refrescos
Polietileno de Alta Densidad	Alto	Rígido, resistente a impactos	Envases de detergente, tuberías
Polietileno de Baja Densidad	Medio	Flexible, baja resistencia térmica	Bolsas plásticas, film de embalaje
Polipropileno	Alto	Ligero, alta resistencia térmica	Tapas de botellas, contenedores de alimentos
Poliestireno	Bajo	Frágil, baja resistencia química	Envases de alimentos, bandejas de carne
Policloruro de Vinilo	Muy bajo	Rígido o flexible según su composición	Tuberías, ventanas, tarjetas de crédito

Fuente: DKV. (2024, abril 29). Tipos de plásticos: clasificación y reciclaje. DKV. Recuperado de: <https://dkv.es/corporativo/blog-360/medioambiente/reciclaje/tipos-de-plasticos-clasificacion-reciclaje>

Procedimiento de extrusión del plástico reciclado

El proceso de extrusión es una de las etapas más importantes en la transformación del plástico reciclado en productos reutilizables. La extrusión consiste en el calentamiento, fusión y moldeado del material plástico, logrando que adopte la forma deseada al pasar por una boquilla. A continuación, se describe detalladamente el procedimiento desde la preparación del material hasta la obtención del producto final.

- **Preparación del material reciclado:** Antes de introducir el plástico en la extrusora, se deben seguir una serie de pasos para garantizar que el proceso sea eficiente y que el material resultante tenga la calidad esperada:
 - ✓ Se separan los diferentes tipos de plásticos reciclables (PET, PP, HDPE, PS).
 - ✓ Se eliminan contaminantes como etiquetas, adhesivos y residuos orgánicos para evitar impurezas en el filamento. Luego, se seca completamente el plástico para prevenir defectos en la extrusión.
 - ✓ Mediante la picadora, el plástico se reduce a fragmentos de 3-12 mm para facilitar su alimentación en la extrusora.
- **Alimentación del plástico a la extrusora:** El material picado se introduce en la tolva de alimentación de la extrusora. En este punto, se debe garantizar una alimentación uniforme y controlada para evitar

interrupciones o atascos en el proceso. Se recomienda que el material tenga un presecado a 80-100°C en una cámara de secado.

- **Transporte y fusión del material en el cañón de la extrusora:** El plástico entra en la cámara de extrusión, donde se encuentra el tornillo sin fin dentro de un cañón calentado. Durante este proceso, el material pasa por diferentes zonas térmicas, cada una con una función específica:
- **Zonas de la extrusora**
 1. **Zona de alimentación:** En esta sección, el plástico aún está en estado sólido y comienza a ser empujado por el tornillo. Se mantiene a una temperatura moderada (50-100°C) para evitar que el material se adhiera prematuramente.
 2. **Zona de compresión o fusión:** Aquí, el material comienza a fundirse a medida que la temperatura aumenta progresivamente entre 150 y 200°C, dependiendo del tipo de plástico. La presión en esta zona es mayor, lo que ayuda a eliminar burbujas y mejorar la homogeneidad del fundido.
 3. **Zona de dosificación o homogeneización:** En esta etapa, el plástico fundido se mezcla y se homogeneiza completamente. La temperatura se mantiene estable para garantizar que el material tenga una fluidez uniforme antes de salir por la boquilla.
- **Salida del material por la boquilla y formación del producto:** Una vez fundido y homogeneizado, el plástico sale a través de la boquilla de extrusión, que define la forma final del producto. Se pueden utilizar diferentes tipos de boquillas según el resultado deseado:
 1. **Filamentos para impresión 3D:** Boquillas de 1.75 mm o 2.85 mm de diámetro.
 2. **Pellets plásticos:** Se corta el material extruido en pequeñas secciones para su reutilización en moldeo por inyección o fabricación de productos plásticos.
 3. **Tablones moldeados:** En lugar de extruir el material en filamentos, se vierte directamente en moldes y se deja enfriar para formar estructuras más gruesas, teniendo como base de la operación el moldeo por extrusión.
- **Enfriamiento y estabilización del material extrudido** Después de la extrusión, el material necesita ser enfriado para fijar su forma y mejorar sus propiedades mecánicas, el enfriamiento que utilizaremos será por medio de aire. Pero también se puede enfriar por agua
 1. **Enfriamiento por aire:** Utilizado para filamentos de impresión 3D. Se controla la velocidad de enfriamiento para evitar tensiones internas.
 2. **Enfriamiento por agua:** Se sumerge el material en un baño de agua a 20-30°C para una estabilización más rápida, común en la producción de pellets.
- **Corte y almacenamiento del producto final:** El material extruido se recoge y se almacena según su aplicación final:

- a) **Filamentos para impresión 3D:** Se enrollan en carretes y se revisa su diámetro para garantizar compatibilidad con las impresoras.
- b) **Pellets:** Se embolsan para ser reutilizados en otros procesos industriales.
- c) **Tablones moldeados:** Se inspeccionan para verificar su resistencia y se almacenan en condiciones adecuadas.

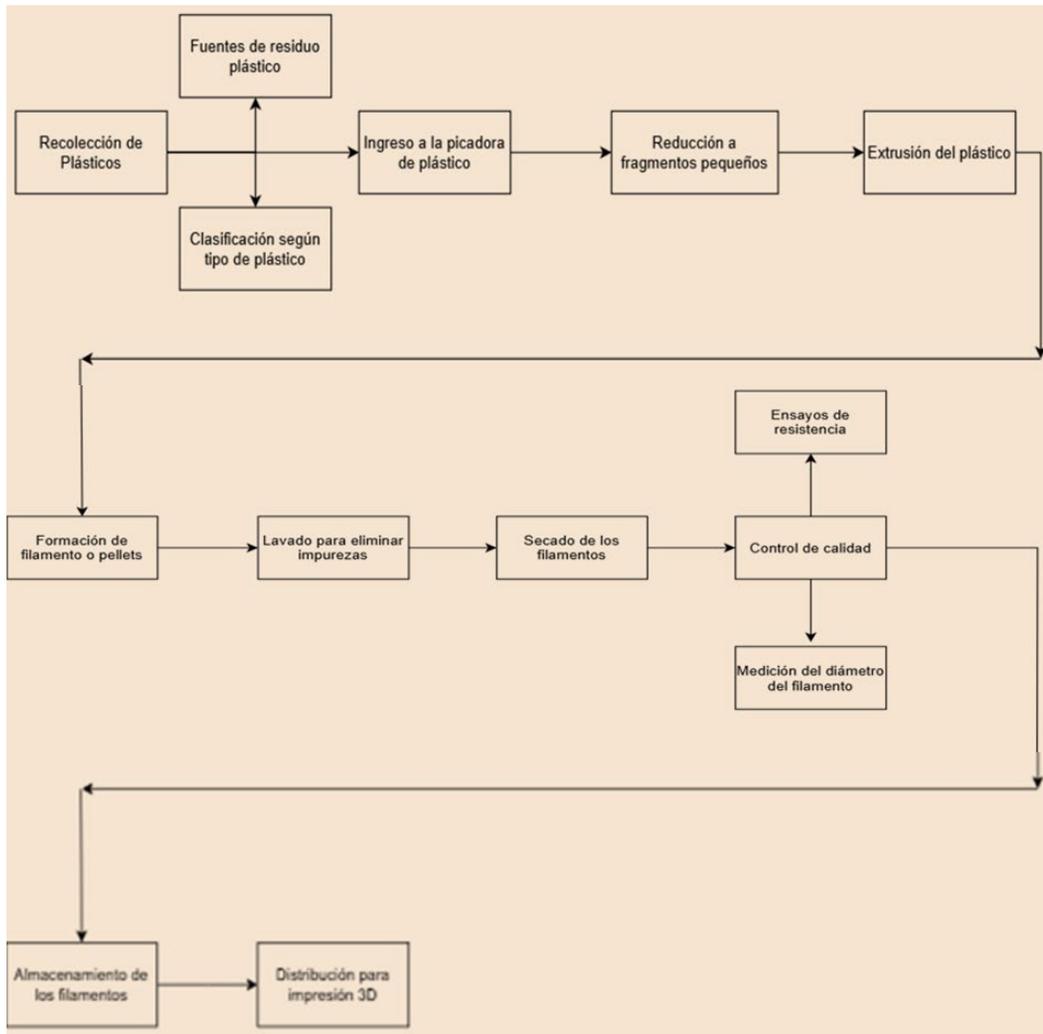


Figura 1. Diagrama de flujo del procedimiento de extrusión del plástico reciclado.
Fuente: Elaboración propia.

4. DESARROLLO

Para este proyecto, se realizó un estudio detallado sobre las condiciones operativas y los cálculos fundamentales de la extrusora, tomando en cuenta factores como la capacidad de producción, el tipo de material plástico, la relación longitud-diámetro del tornillo, la velocidad de rotación y la potencia del motor.

- **Selección del material plástico:** Uno de los aspectos más relevantes en el diseño de una extrusora es el tipo de material plástico que se va a procesar. Cada polímero tiene propiedades térmicas, viscosidad y temperatura de fusión distintas, lo que afecta directamente la configuración del sistema de extrusión. Los materiales seleccionados para este estudio incluyen:
 - ✓ Polietileno de alta densidad (HDPE)
 - ✓ Polipropileno (PP)
 - ✓ Poliestireno (PS)
 - ✓ Polietileno tereftalato (PET)

A partir de información recopilada de bases de datos especializadas como Matmatch, MatWeb, así como del libro técnico “Principles of Polymer Processing” de Tadmor y Gogos (2013), así como otras publicaciones línea, se elaboró de forma resumida los valores aproximados de temperatura de extrusión y viscosidad relativa de los polímeros más comunes. Estos rangos representan promedios industriales y pueden variar según la pureza del material, el método de procesamiento, o si se trata de un polímero virgen o reciclado.

Tabla 3: Características de los plásticos

Material	Temperatura de extrusión (°C)	Viscosidad relativa
PET	150 - 200	Alta
HDPE	180 – 230	Media
PP	170 – 220	Media – Alta
PS	180 – 280	Baja

Fuente: Grupo Petrop. ¿A qué temperatura debo trabajar mi materia prima para productos de plástico? Recuperado de: <https://www.grupopetrop.com/noticias/a-que-temperatura-debo-trabajar-mi-materia-prima-para-productos-de-plastico/>

Determinación de la capacidad de producción: La capacidad de producción de la extrusora define el rendimiento del sistema en función del material procesado. Se expresa en kilogramos por hora (kg/hr) y depende del diámetro del tornillo, la relación longitud-diámetro (L/D), la velocidad de rotación y la eficiencia térmica del sistema.

- **Diámetro del tornillo sin fin y relación longitud/diámetro (L/D):** El tornillo sin fin es el componente fundamental en una extrusora, ya que transporta, funde y homogeniza el plástico antes de su salida por la boquilla. La selección de su diámetro y su relación L/D tiene un impacto directo en la eficiencia del proceso.
- ✓ **Cálculo de la capacidad de producción:** Se utilizó la ecuación proporcionada por Calculator Ultra (s.f.), disponible en su herramienta “Extruder output calculator”.

$$Q = \frac{\pi \times \left(\frac{D}{2}\right)^2 \times N \times \rho}{1000} \times 60$$

- Q: Capacidad (kg/h).
 - D: Diámetro del tornillo (cm).
 - N: Velocidad del tornillo (rpm).
 - ρ : Densidad del material (g/cm³)
- ✓ **Relación longitud/diámetro:** La relación L/D representa la longitud efectiva del tornillo en función de su diámetro, es un dato importante en el diseño de tornillos para extrusoras ya que afecta cómo se derrite y se mezcla el material dentro de la máquina. En extrusoras convencionales, los valores típicos oscilan entre 20:1 y 34:1, aunque para materiales de alta viscosidad se pueden emplear relaciones mayores a 32:1 (*Extrusion course material* (s.f.) Scribd).

$$\frac{L}{D}$$

- L: Longitud efectiva del tornillo
- D: Diámetro del tornillo (mm).

- **Cálculo de la potencia del motor:** El motor de la extrusora debe proporcionar la energía suficiente para fundir el material y transportarlo a través del tornillo sin fin. Se utilizó la ecuación proporcionada por True Geometry. (s.f.). “Impact of efficiency on power output”.

$$P = \frac{Q \times H \times \eta}{100} =$$

- P = Potencia del motor (W)
 - Q = Capacidad de producción (kg/s)
 - H = Energía específica requerida para fundir el plástico (J/kg)
 - η = Eficiencia del sistema (0.8 - 0.9)
- **Velocidad del tornillo:** La velocidad de rotación del tornillo afecta la presión, la homogeneidad del material y la estabilidad del flujo de extrusión. Según un estudio de Gálvez *et al.* (2020) que habla sobre el efecto de la velocidad del tornillo de extrusión, se trabajó con velocidades de rotación del tornillo entre 60 y 150 rpm para analizar cómo influyen en las propiedades del PLA. Estos valores serán utilizados como base para determinar la velocidad adecuada en nuestra extrusora. Estos datos experimentales nos sirvieron como ejemplo para establecer un rango de velocidad que permita un buen desempeño en el proceso de extrusión. Para evitar sobrecalentamiento y asegurar un flujo continuo, se determinó una velocidad promedio de 40 rpm para este diseño, con capacidad de ajuste según el material procesado.
 - **Sistema de calentamiento:** El control térmico en la extrusora es crucial para evitar la degradación del plástico y garantizar una fusión uniforme. Se emplean resistencias eléctricas tipo cinturón para proporcionar calor a lo largo del cañón de la extrusora. Estas resistencias están distribuidas en tres zonas de calentamiento, con temperaturas ajustables según el material procesado.

Tabla 4: Temperatura en zonas de calentamiento

Zona	Temperatura (°C)
Alimentación	50 – 100
Fusión	150 –200
Homogeneización	200 - 220

Fuente: Elaboración propia, en base a datos obtenidos en el taller del Departamento de Electromecánica de la Universidad Privada del Valle (2024).

- **Sistema de enfriamiento:** Para evitar sobrecalentamiento, se implementó un sistema de enfriamiento por aire en las últimas etapas del proceso. En algunos casos, se puede complementar con enfriamiento por agua, dependiendo del tipo de plástico extruido.
- **Diseño del cabezal y la boquilla:** El cabezal de la extrusora debe garantizar que el material salga en la forma deseada. Se han diseñado boquillas intercambiables que permiten obtener diferentes productos finales.

Tabla 5: Producto final

Producto final	Boquillas
Filamentos 3D	Boquilla de 1.75 – 2.85 mm
Pellets	Troquel con cortadora rotativa
Tablones moldeados	Sistema de moldes para enfriamiento directo

Fuente: Elaboración propia, en base a datos obtenidos en el taller del Departamento de Electromecánica de la Universidad Privada del Valle (2024).

Proceso de fabricación

Tras concluir la etapa de diseño y cálculo técnico de la picadora y extrusora de plásticos, se procedió a la fabricación física de los prototipos en los talleres de la Universidad Privada del Valle, en colaboración con el personal estudiantil de la facultad de tecnología. Este proceso no solo implicó la selección de componentes mecánicos y eléctricos adecuados, sino también la puesta en marcha de sistemas que permitieran garantizar funcionalidad, eficiencia energética y seguridad operativa en ambos equipos.

La información fue registrada directamente mediante observación técnica. A continuación, se presenta la descripción detallada de cada equipo.

1. Fabricación de la Picadora de Plástico

La picadora fue construida utilizando materiales robustos, priorizando la resistencia mecánica, durabilidad y facilidad de mantenimiento. El sistema de corte se diseñó bajo el principio de corte por cizalla, lo que implica una interacción entre cuchillas móviles y fijas dispuestas en un eje hexagonal central. Las cuchillas fueron cortadas y mecanizadas en los laboratorios de la universidad mediante un equipo de corte por plasma, empleando acero templado por su alta dureza y resistencia al desgaste.



Figura 2. Cuchillas móviles. Fuente: Elaboración propia (2024).

Se optó por un motor de 1 HP acoplado a un reductor de velocidad 40:1, lo cual permitió obtener un par elevado necesario para triturar plásticos de alta densidad como el HDPE y el PET. Este sistema está dispuesto en el lateral izquierdo del equipo para facilitar el acceso al mantenimiento y ajustes de tensión de las poleas.

El sistema de transmisión por correas y poleas mantiene las cuchillas girando entre 300 y 600 rpm, rango ideal para optimizar la eficiencia de corte sin comprometer la seguridad. Además, se integró un tablero de control eléctrico que permite invertir el sentido de giro del eje del motor reductor, función crítica para desbloquear el sistema en caso de atascamiento del material plástico.

Se incorporó también una tolva de alimentación superior que dirige el material al área de corte, así como un depósito inferior de recepción donde se almacena el plástico triturado. Toda la estructura fue construida en acero al carbono con tratamientos de protección superficial contra la corrosión.



Figura 3. Picadora de plástico. Fuente: Elaboración Propia (2024).

2. Fabricación de la Extrusora de Plástico

La extrusora se diseñó como una extensión funcional del sistema de picado, con el propósito de transformar los fragmentos plásticos en filamentos, pellets o piezas moldeadas. La extrusora cuenta con un tornillo sin fin (gusano) de 50 cm de longitud, instalado dentro de un cañón metálico con recubrimiento interno resistente al desgaste.

El tornillo está acoplado mediante un sistema de poleas al mismo motor reductor de la picadora, aprovechando un diseño integrado que permite operar ambos equipos con una sola fuente de potencia, optimizando así el consumo energético. Este sistema reduce la complejidad operativa y mejora la sincronización de ambas etapas del reciclaje.

La extrusora termina en una boquilla con perforación de entre 2.3 mm y 2.5 mm, con un escalonamiento interno que facilita la extrusión para la formación del filamento y su salida continua. La boquilla es intercambiable, lo cual permite obtener distintos tipos de productos según el molde o la aplicación.

El sistema térmico está compuesto por resistencias eléctricas tipo cinturón, distribuidas en tres zonas de calentamiento: alimentación (50–100 °C), fusión (150–200 °C) y homogeneización (200–220 °C). Estas zonas están controladas mediante termocuplas conectadas a un sistema de regulación de temperatura digital.

Ambos equipos están unidos por una tolva de comunicación, que permite que el plástico triturado fluya directamente desde la picadora hacia la extrusora, eliminando el manejo manual intermedio y reduciendo la pérdida de material.



Figura 4. Extrusora de plástico. Fuente: Elaboración Propia (2024).

5. RESULTADOS

El desarrollo de la picadora y la extrusora de plástico ha sido exitoso, logrando la transformación eficiente de materiales reciclados en productos reutilizables. Se realizaron diversas pruebas de operación, evaluación de materiales y análisis de rendimiento para validar la eficiencia del sistema.

El prototipo desarrollado mostró un rendimiento satisfactorio en términos de eficiencia de picado y extrusión. La picadora logró reducir los plásticos a fragmentos de 5-10 mm de tamaño, adecuados para la extrusión. La extrusora, con su sistema de control térmico mejorado, permitió la obtención de filamentos con un diámetro uniforme de 1.75 mm, estándar para impresoras 3D comerciales.

Como parte de la validación técnica del sistema de reciclaje mecánico desarrollado, se llevó a cabo una serie de ensayos de caracterización en laboratorio con el objetivo de evaluar las propiedades físicas, térmicas y químicas del plástico reciclado extrusionado. Este análisis permitió verificar si los polímeros reutilizados conservaban sus propiedades fundamentales tras haber sido sometidos a un ciclo completo de picado, fusión y extrusión, lo que resulta fundamental para su posible aplicación en impresión 3D o manufactura de objetos funcionales.

Se analizaron tres muestras de plástico reciclado a través de ensayos de densidad utilizando el método de flotación y balance hidrostático, en fechas distintas y condiciones controladas. Los resultados iniciales correspondientes a muestras de polímero de color amarillo y rojo arrojaron valores de 0,914 g/cm³ y 0,913 g/cm³, respectivamente. Ambos se encuentran dentro del rango de referencia del polipropileno (PP), 0,895–0,920 g/cm³, lo que confirma que las primeras etapas del proceso de selección, limpieza y picado fueron acertadas en términos de clasificación del material.

Sin embargo, una tercera muestra procesada posteriormente, obtenida directamente tras la extrusión, presentó una densidad de 0,8085 g/cm³, valor que se encuentra por debajo del rango típico para el polipropileno y de otros polímeros comunes como HDPE o LDPE. Este resultado anómalo puede atribuirse a una serie de factores vinculados al reprocesamiento térmico, como la posible incorporación de microburbujas en la masa plástica, presencia de impurezas no visibles, o variaciones en la tasa de enfriamiento durante la extrusión. No se descarta, además, la influencia de una humedad residual no eliminada completamente antes del procesamiento.

Este hallazgo evidencia la importancia de contar con un sistema de secado previo más eficiente y de integrar controles de calidad más estrictos en cada etapa del proceso, especialmente cuando se pretende reutilizar plásticos múltiples veces.

Tabla 6. Resultados de laboratorio de los polímeros

Laboratorio de Petróleo					
Fecha: 23/05/2024					
Determinación de densidad de polímeros					
Descripción	Valor	Unidad	Referencia (Densidad del polipropileno g/cm3)	Referencia (Densidad del HDPE g/cm3)	Referencia (Densidad del LDPE g/cm3)
Muestra 1 (polímero color amarillo)	0,914	g/cm3	0,895-0,920	0,940-0,970	0,925-0,935
Muestra 2 (polímero color rojo)	0,913	g/cm3	0,895-0,920	0,940-0,970	0,925-0,935

Fuente: Universidad Privada del Valle. (2024).

Ensayo de Solubilidad

Con el objetivo de confirmar la identidad del polímero y evaluar su comportamiento químico frente a disolventes orgánicos, se sometió una muestra de filamento reciclado a pruebas de solubilidad utilizando diferentes solventes: n-hexano, benceno, acetona, metanol y tetrahidrofurano, tanto a temperatura ambiente como a 80 °C.

En todos los casos, el resultado fue el mismo: el material se mantuvo insoluble, lo cual coincide con las características propias del polipropileno, un polímero que no se disuelve fácilmente en los disolventes mencionados bajo condiciones normales. Este comportamiento confirma nuevamente la identidad química del polímero utilizado, validando el procedimiento de selección previa al reciclaje.

Por último se hizo una evaluación térmica, el plástico reciclado fue expuesto a una fuente de calor controlada con el fin de observar su respuesta térmica. La muestra se deformó gradualmente conforme aumentaba la temperatura y adoptó la forma del molde o soporte donde fue colocada, sin presentar signos de degradación química

inmediata. Este comportamiento es típico de los termoplásticos, confirmando que el material conserva su capacidad de reblandecerse con el calor sin perder completamente su estructura molecular.

Este dato es relevante ya que implica que el material puede ser reutilizado en múltiples ciclos de impresión o moldeo siempre que se mantenga dentro de los rangos térmicos adecuados. Además, abre la posibilidad de explorar técnicas de termoformado para aplicaciones específicas del plástico reciclado.

Tabla 7. Resultados de laboratorio de los polímeros

Laboratorio de Petróleo, gas y energías					
Fecha: 20/06/2024					
Determinación de densidad					
Descripción	Valor	Unidad	Referencia (Densidad del polipropileno g/cm3)	Referencia (Densidad del HDPE g/cm3)	Referencia (Densidad del LDPE g/cm3)
Muestra 1: plástico reciclado	0,8085	g/cm3	0,895-0,920	0,940-0,970	0,925-0,935
La muestra se encuentra fuera del valor de referencia, puede deberse al procesamiento del polímero					
Solubilidad					
Descripción	Solvente	Solubilidad a temperatura ambiente	Solubilidad a temperatura de 80 °C	Referencia (solubilidad del polipropileno)	
Muestra 1: plástico reciclado	n-Hexano	insoluble	insoluble	insoluble	
Muestra 1: plástico reciclado	Benceno	insoluble	insoluble	insoluble	
Muestra 1: plástico reciclado	Acetona	insoluble	insoluble	insoluble	
Muestra 1: plástico reciclado	Metanol	insoluble	insoluble	insoluble	
Muestra 1: plástico reciclado	tetrahidrofurano	insoluble	insoluble	insoluble	
La solubilidad de la muestra se encuentra conforme a referencia del polipropileno					
Propiedades térmicas					
Descripción	Exposición al calor	Resultado	Referencia (polipropileno)		
Muestra 1: plástico reciclado	se deforma y adquiere forma que se le otorgue	termoplástico	termoplástico		
La muestra se encuentra conforme a referencia del polipropileno					
Combustión					
Descripción	Combustión	Deformación	Color de llama	Presencia de humo	
Muestra 1: plástico reciclado	Si es combustible	deformación inmediata	azul	si produce humo	

Fuente: Universidad Privada del Valle. (2024).

6. CONCLUSIONES

El desarrollo e implementación del proceso de reciclaje mecánico de plásticos ha demostrado ser no solo viable, sino también eficaz en cada una de sus etapas. Tanto la trituradora como la extrusora de plástico cumplieron sus funciones con eficiencia, permitiendo convertir residuos plásticos en nuevos productos útiles. A lo largo del proyecto, se avanzó en la obtención de filamento mediante extrusión, con resultados preliminares prometedores. Hasta ahora los avances alcanzados indican

que el diseño y ensamblaje de los equipos funciona adecuadamente. Se sugiere que, en futuras pruebas e investigaciones, se continúen afinando los parámetros del proceso para lograr un filamento con las características necesarias para su uso en impresoras 3D.

Durante las pruebas de laboratorio, el material obtenido fue sometido a análisis físicos y químicos que confirmaron un dato alentador: las propiedades fundamentales del plástico reciclado se mantuvieron estables, incluso después de haber pasado por procesos térmicos exigentes como la extrusión. Esto significa que el material conserva sus características originales —como la resistencia, densidad y comportamiento térmico—, lo que valida su reutilización sin necesidad de procesos adicionales o aditivos que encarezcan la producción.

Uno de los momentos más destacados del proyecto fue observar el proceso de extrusión del filamento reciclado. En la Figura 5, se muestra claramente cómo el plástico entra en la máquina y cómo el filamento comienza a salir de forma continua, mientras un estudiante lo guía manualmente. Aunque aún no se ha logrado imprimir una pieza completa con este filamento, este avance representa un paso importante hacia la validación del material. En futuras pruebas, se buscará verificar su funcionalidad en impresión 3D y evaluar su desempeño. Las capturas del video serán incluidas en los resultados para documentar visualmente este proceso.

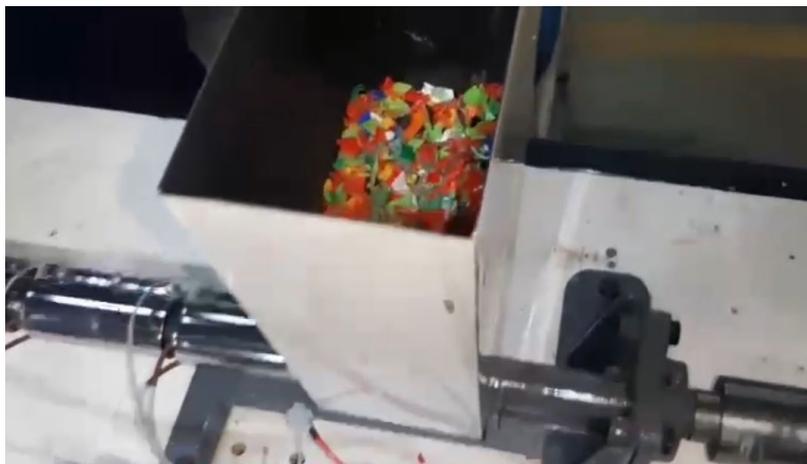


Figura 5. Ingreso de plástico en la extrusora. Fuente: Elaboración propia (2024).

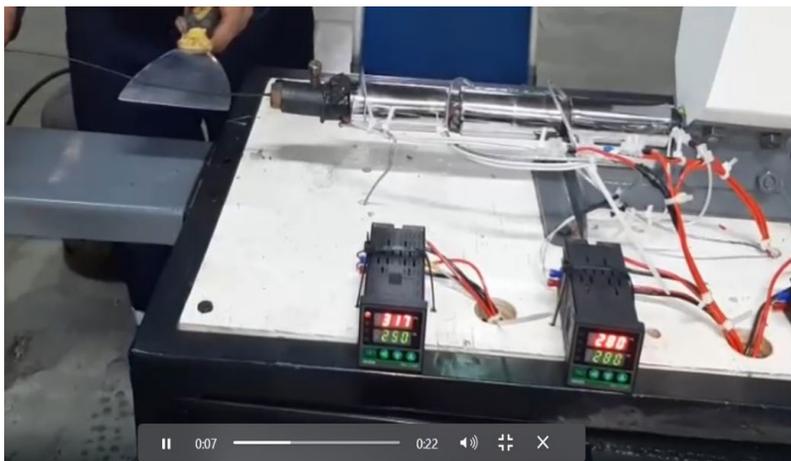


Figura 6. Extrusión de los filamentos. Fuente: Elaboración propia (2024).

En las figuras se observa como el material, previamente recolectado, limpiado y procesado es alimentado en la tolva de la extrusora. A través de la acción del tornillo giratorio y el calentamiento progresivo en el barril, el plástico se funde y es empujado hacia la boquilla, donde se moldea en forma de filamento. En este punto (figura 6), un estudiante de la facultad de tecnología guía manualmente el filamento para mantener la salida continua y evitar que se enrede o deforme mientras se enfría. Este proceso evidencia que la máquina funciona correctamente en su tarea principal: convertir desechos plásticos en un nuevo recurso potencialmente útil.

Aunque aún no se ha utilizado este filamento en una impresión 3D completa, estas pruebas demuestran que el sistema de extrusión tiene la capacidad de generar material reciclado con buena consistencia visual. Las pruebas futuras se enfocarán en lograr un producto final que sea funcional para impresión 3D. Esto demuestra un gran paso hacia una solución práctica y económica para reciclar plástico en la universidad o en pequeña escala.

Además, este resultado muestra el valor educativo y ambiental del sistema. Ver cómo un residuo se convierte en una nueva materia prima lista para usar en procesos como impresión o moldeo, ayuda a entender la importancia del reciclaje.

En general se alcanzaron los objetivos técnicos y también se abrió la puerta a nuevas posibilidades de uso y reutilización de los plásticos. El proyecto invita a seguir innovando, a mejorar los procesos y a explorar nuevas aplicaciones.

7. REFERENCIAS

- 3Dnatives. (2023, marzo 10). *Filamentos reciclados para impresión 3D: ¿una opción sostenible?* <https://www.3dnatives.com/es/filamentos-reciclados-impresion-3d-100320234/>
- Andrady, A. L. (2015). *Plásticos y el medio ambiente*. John Wiley & Sons.
- Brydson, J. A. (2001). *Materiales plásticos* (7ª ed.). Editorial Reverté.
- Calculator Ultra. (s.f.). *Extruder output calculator*. <https://www.calculatorultra.com/es/tool/extruder-output-calculator.html>
- DKV. (2024, abril 29). *Tipos de plásticos: clasificación y reciclaje*. <https://dkv.es/corporativo/blog-360/medioambiente/reciclaje/tipos-de-plasticos-clasificacion-reciclaje>
- Gálvez, J., Figueroa, L. A., Vásquez, A., & Martínez, D. (2020). Influence of screw speed on PLA properties. *Polymers*, 12(9), 2111. <https://www.mdpi.com/2073-4360/12/9/2111>
- Grupo Petrop. (s.f.). *¿A qué temperatura debo trabajar mi materia prima para productos de plástico?* <https://www.grupopetrop.com/noticias/a-que-temperatura-debo-trabajar-mi-materia-prima-para-productos-de-plastico/>
- Instituto de Gestión de Residuos Plásticos. (2020). *Iniciativas globales de reciclaje de plásticos*. Instituto de Gestión de Residuos Plásticos.
- Interempresas. (2011). *La producción mundial de plásticos crece un 4 por ciento*. <https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/69791-La-produccion-mundial-de-plasticos-crece-un-4-por-ciento.html>
- Interempresas. (2022). *Extrusora para grancear plástico: Qué es y cómo funciona*. <https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/260036-Extrusora-para-grancear-plastico-Que-es-y-como-funciona.html>
- Los Tiempos. (2024, septiembre 19). *Se abre el diálogo en K'ara K'ara*. <https://m.lostiempos.com/actualidad/cochabamba/20240919/se-abre-dialogo-kara-kara-recicladores-intensifican-su-labor>
- Matmatch. (s.f.). *Thermoplastics material properties database*. <https://www.matmatch.com>
- MMAyA (Ministerio de Medio Ambiente y Agua). (2011). *Diagnóstico sobre residuos sólidos en Bolivia*. <https://leiturasdaamerica.blogspot.com/2011/12/bolivia-genera-al-ano-17-millones-de-t.html>
- Naylors, R., & Papageorgiou, D. (2014). *Reciclaje de plásticos: Teoría y práctica*. Springer.
- Plastico.com. (2021). *Todo sobre las trituradoras de plástico: aplicaciones y ventajas*. <https://www.plastico.com/es/noticias/todo-sobre-las-trituradoras-de-plastico-aplicaciones-y-ventajas>
- Plastico.com. (s.f.). *Extrusoras de plástico: todo lo que debe conocer*. <https://www.plastico.com/es/noticias/extrusoras-de-plastico-todo-lo-que-debe-conocer>
- Polyretec. (s.f.). *Línea de reciclaje de plástico y extrusoras para granceado*. <https://www.polyretecrecycling.com/es/productos/>
- Rosato, D. V., & Rosato, D. V. (2004). *Extruding plastics: A practical guide*. Springer.

Scribd. (s.f.). *Extrusion course material* (p. 14). <https://es.scribd.com/document/611488933/extrusion-course-material>

Sperling, L. H. (2006). *Introducción a la ciencia de los polímeros* (4ª ed.). Editorial Reverté.

Tadmor, Z., & Gogos, C. G. (2006). *Principles of polymer processing* (2nd ed.). John Wiley & Sons.

True Geometry. (s.f.). *Impact of efficiency on power output*. https://blog.truegeometry.com/engineering/Analytics_Impact_of_Efficiency_on_Power_Output_Q_H_100.html

WWF Bolivia. (2019). *Diagnóstico sobre el uso de plásticos de un solo uso en Bolivia*. https://wwflac.awsassets.panda.org/downloads/diagnostico_plasticos_de_un_solo_uso_wwf_bolivia.pdf