

Design and construction of a machine extrusion to obtain recycled PLA filament

Diseño y construcción de una extrusora para la obtención de filamento PLA reciclado

Agustín Guzmán Cortés^{*1}, Mirna Cuatzo Itzcua¹, and Gabriel Antonio Balderas Flores¹

¹ Universidad Tecnológica de Puebla (UTP), División Sistemas Automotrices,
Antiguo Camino a la Resurrección 1002-A, Zona Industrial, Puebla, Pue., México, C.P. 72300.
{agustin.guzman, mirna.cuatzo, gabriel.balderas}@utpuebla.edu.mx

Abstract

Pollution is one of the main problems today. For this reason, it is important that technology created could be ecofriendly and sustainable. One of the new technologies that is generating a big impact is 3d printing, which allows parts to be created more efficiently. However, this does not guarantee that there are no defective parts and in this point is important to search new alternatives to minimize scrap. This project proposes the creation of a PLA plastic recycling system using a extrusion machine built with recycled material. This is intended to generate new plastic parts using recycled material, wich could be useful to new purposes, allows minimize the operation costs and help to reduce the contamination.

Keywords— extrusion, PLA, recycled

Resumen

La contaminación es uno de los principales problemas en la actualidad. Por ello es importante que la tecnología creada sea ecológica y sostenible. Una de las nuevas tecnologías que está generando un gran impacto es la impresión 3D, que permite crear piezas de manera más eficiente. Sin embargo, esto no garantiza que no haya piezas defectuosas siendo necesario buscar nuevas alternativas para minimizar el desperdicio de éstas. Este proyecto propone la creación de un sistema de reciclaje de plástico PLA, utilizando una máquina extrusora construida con material reciclado. Con esto se pretende generar

nuevas piezas de plástico a partir de material reciclado, que puedan ser útiles para nuevos propósitos, permitan minimizar los costos de operación y ayuden a reducir la contaminación.

Palabras clave— extrusora, PLA, reciclaje

I. Introducción

En la actualidad, se tiene un gran número de problemas relacionados con los plásticos, desde su proceso de producción hasta su vida útil y manejo como desecho.

De acuerdo con lo reportado por Balla et al. [1] se ha estimado que hasta el año 2021, la producción total de polímeros a nivel mundial había alcanzado un valor aproximado de 9,000 t, de los cuales solo del 9 al 10 % fueron reciclados y utilizados, mientras que un 12 % fue incinerado, dejando a cerca de 78 al 79 % contaminando a ríos, lagos, océanos y vertederos.

Lo anterior ha ocasionado que los investigadores se vean obligados a implementar sistemas de reciclaje más eficientes y/o buscar otros materiales plásticos que sean más amigables con el medio ambiente.

Dentro de los materiales más prometedores que existen actualmente se encuentra el ácido poliláctico (PLA) debido a que es un biopolímero que puede ser producido a gran escala sin perder sus propiedades como material biodegradable y biocompatible. El PLA es un poliéster alifático de base biológica derivado del ácido láctico (ácido 2-hidroxi-propanoico) que puede ser obtenido a partir de fuentes animales y vegetales como: celulosa, almidón, maíz, desperdicio de pescado y desperdicio de cocinas.

El PLA fue sintetizado por primera vez en 1932 acorde con Balla et al. [1] y ha mostrado excelentes propiedades dentro de las que destacan su resistencia mecánica,

* Autor de correspondencia

biocompatibilidad, biodegradabilidad y principalmente su alta compostabilidad, permitiendo que éste sea una opción más viable que los polímeros basados en el petróleo.

Éste ha encontrado aplicación en áreas como son: empaque, automotriz, agricultura y biomédicas. Además, en conjunto con la impresión en 3D ha sido capaz de crear casas, autos, cubrebocas, armazones de lentes, juguetes, reconstrucción de piezas de museo, aparatos de ortodoncia e incluso órganos biocompatibles para uso humano.

Actualmente, la impresión en 3D ha tomado un gran impulso para la producción de piezas con características específicas y de acuerdo con lo reportado por Caihan Zhu et al. [2], consume un valor aproximado de 18,500 t de plásticos, de los cuales, se sugiere que 5,000 t podrían ser residuos de impresión.

En esta área los plásticos que pueden ser extruidos principalmente incluye el ABS, PLA, PA y PC, que poseen un buen desempeño de procesamiento y que son capaces de generar una amplia variedad de productos. Sin embargo, el material de mayor interés sigue siendo el PLA, debido a sus propiedades y a que puede ser fácilmente manipulado y reciclado.

Los estudios revelan que si el PLA es reciclado de manera adecuada la disminución de sus propiedades es mínima. De acuerdo a Delgado Ayala [3], el PLA reciclado con mejores propiedades es aquel obtenido con base en filamentos cuyo diámetro se mantiene constante y cercano a los 1.75 mm, debido a que la extrusora mantiene una alimentación constante.

Además, sugiere que en esta la velocidad de alimentación sea controlada, con lo que se espera se ayude a homogeneizar el producto de salida. Como se puede observar, estos dos parámetros sólo contemplan variables de entrada que deben ser controladas para mejorar la calidad del producto final y que se verán reflejados en una menor disminución en la resistencia a la tensión, resistencia al impacto y resistencia a la flexión y que podrían, de acuerdo con Beltrán et al. [4] ser más sostenible que el PLA virgen.

Para poder llevar a cabo el reciclaje del PLA es necesario que en la máquina de extrusión el polímero se funda con una temperatura controlada. En esta máquina es deseable que la materia prima se encuentre triturada con un tamaño homogéneo, debido a que dicho material se hará pasar a través de un embudo, el cual abastecerá de materia prima a un cilindro caliente que contiene en su interior un husillo que empujará al material a lo largo del cilindro para obtener de esta manera un filamento constante [5] como se observa en la Figura 1.

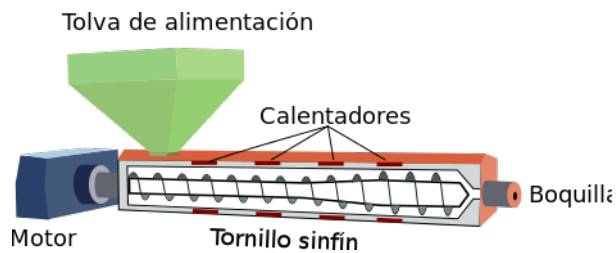


Figura 1: Esquema general de una extrusora [6]

II. Materiales y métodos

II.1. Diseño

La Extrusora Plástica se diseñó en el Software CAD SolidWorks por su amplia versatilidad en los diseños y aplicaciones industriales (ver Figura 2).

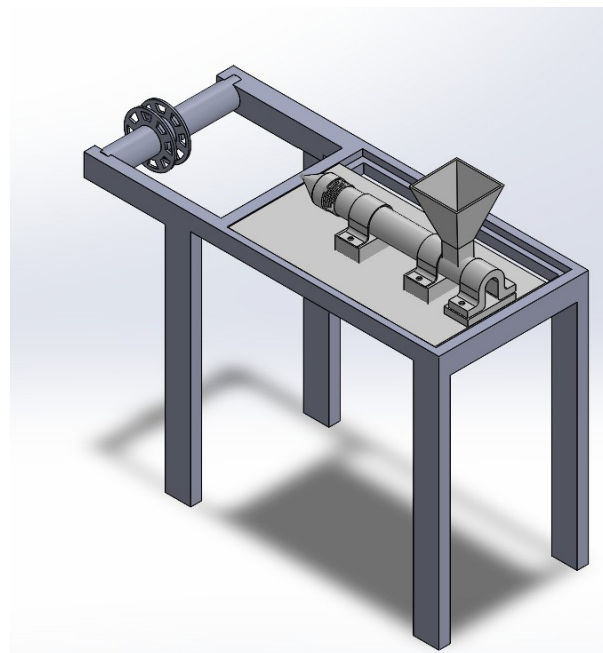


Figura 2: Diseño CAD de la Extrusora Plástica

Estos fueron con base en su facilidad de adquisición y bajo costo. Los materiales elegidos fueron: madera, perfiles metálicos, PVC, CPVC, alambres, tornillos, tuercas, una fuente de poder de PC, resistencias eléctricas de parrilla, protoboard, cables, ventiladores, sensores LM35, reguladores de voltaje y un Arduino UNO.

II.2. Fabricación de prototipo

Sobre una estructura metálica de $86 \times 80 \times 47$ cm está colocada una base de madera en donde están montados el tornillo sin fin, la tolva, la fuente de poder y los sensores, así como un compartimento especial para el protoboard y la tarjeta Arduino (ver Figura 3 y Figura 4).

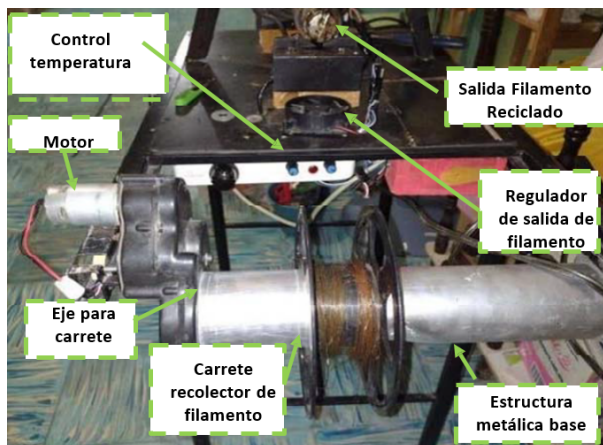


Figura 3: Extrusora plástica construida con materiales reciclados



Figura 4: Compartimento de la extrusora para salvaguardar los componentes electrónicos

Después de utilizar varias veces el prototipo, se decidió construir un sistema de extracción de gases, el cual se colocó por encima de la tolva. Dicho sistema de extracción con una medida vertical de 1 m está constituido por un tubo de PVC de 4", un ventilador de 12 Volts para generar el flujo de extracción y una base de soporte (ver Figura 5).

II.3. Proceso de extrusión plástica

Este proceso inicia con la recolección de piezas impresas en PLA o residuos de impresiones (Material Base de



Figura 5: Sistema de Extracción de Gases de la extrusora plástica

Impresión), los cuales se recolectan y clasifican según su tamaño y forma, para posteriormente proceder con el triturado y obtener un pellet o lenteja de tamaño pequeño, aproximadamente de 1 cm² (ver Figura 6).



Figura 6: PLA triturado previo a la extrusión para su reciclaje

Una vez que se tiene la materia prima con tamaño homogéneo se puede proceder con el precalentamiento de la extrusora. En la Figura 7 y Figura 8 se puede apreciar la etapa de precalentamiento, la cual se realiza mediante la utilización de dos resistencias eléctricas de parrilla con la finalidad de garantizar una temperatura homogénea. Posterior al calentamiento, se puede comenzar con el proceso de extrusión, el cual consiste en colocar dentro de la tolva desde la parte superior la materia prima para



Figura 7: Panel del controlador de temperatura para el proceso de extrusión

que en la parte inferior con ayuda del tornillo sin fin el material pueda avanzar por el tubo de extrusión y se pueda obtener el filamento deseado.



Figura 8: Resistencias utilizadas para el calentamiento de la extrusora plástica

II.4. Etapa de control

Esta etapa se enfoca en el control de la temperatura debido a que es la variable más importante por controlar y que va a garantizar que el filamento obtenido tenga las características necesarias como: grosor, estructura y humedad. Además del control de la temperatura, fue necesario controlar la velocidad de los motores que hacen rotar el tornillo sin fin y la bobina donde se deposita el material extruido, es decir, el PLA reciclado.

Es importante considerar que si los parámetros no son correctos, el PLA se rompía o pegaba al carrete. Finalmente fue necesario colocar una alarma que se activase cuando el carrete alcanzase un peso de 500 g para notificar que era necesario colocar un carrete nuevo.

A continuación, se presenta el código para el funcionamiento de la extrusora (ver Figura 9).

```
#include <LiquidCrystal.h> // importa librería LiquidCrystal
LiquidCrystal lcd(7, 6, 5, 4, 3, 2); // crea objeto y asigna pines a los cuales se
// encuentran conectados RS, E, D4, D5, D6, D7

int SENSOR; // variable almacena valor leído de entrada analógica A0
int ventilador = 8; // salida digital 8
float TEMPERATURA; // valor de temperatura en grados centígrados
float SUMA; // valor de la suma de las 5 lecturas de temperatura
bool ventilador_activado = false;
int temperatura_limite = 40;

void setup() {
  lcd.begin(16, 2); // inicializada lcd en 16 columnas por 2 filas
  // entradas analógicas no requieren inicialización
  pinMode(ventilador, OUTPUT);
}

void loop() {
  SUMA = 0; // valor inicial de SUMA en cero
  for (int i=0; i<5; i++) { // bucle que repite 5 veces
    SENSOR = analogRead(A0); // lectura de entrada analógica A0
    TEMPERATURA = (SENSOR * 5000.0) / 1023 / 10; // lectura de entrada analógica A0
    // de entrada A0 en grados centígrados
    SUMA = TEMPERATURA + SUMA; // suma de cada lectura de temperatura
    delay(500); // demora de medio seg. entre lecturas
  }
  lcd.setCursor(0, 0); // cursor en primer fila y primer columna
  lcd.print("Temp: "); // escribe Temp:
  lcd.print(SUMA/5.0, 1); // escribe valor promedio de 5 lecturas con
  // un decimal
  lcd.print(" C"); // imprime C
}
```

Figura 9: Código parcial de funcionamiento de la extrusora plástica

III. Resultados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del PLA reciclado con la extrusora propuesta.

Como resultado de generar filamento de diversas calidades, se dividió este trabajo en dos etapas iniciales, pudiéndose distinguir una primera fase sin el sistema de extracción de gases acoplado y una segunda fase con dicho sistema implementado.

Primera fase: En esta etapa del proceso solo se pretendía la molienda de la materia prima en un pellet de tamaño uniforme, el acoplamiento de un sistema de calentamiento que permitiera al usuario modificar la temperatura desde los 125 °C hasta los 260 °C, con un control óptimo de temperatura ya que es una variable crucial en la fundición de materiales plásticos y que, en algunos casos, si es demasiado alta el material perderá porcentajes de algunas propiedades mecánicas dejando estos materiales inservibles para su uso en la impresión 3D (ver Figura 10).

Hablando de materiales como el PLA, el rango de temperatura de obtención y fundición se encuentra entre los 190 – 220°C [7, 8]. Sin embargo, con la finalidad de no limitar la extrusora a trabajar únicamente este material se amplió el rango de operación hasta los 260 °C [9, 10, 11], temperatura a la que el filamento de ABS podría formarse, para de esta manera ampliar la gama de materiales con los que pueda trabajar.

Hablando exclusivamente de la extrusión de PLA (ver Figura 11), los resultados visibles obtenidos en la primera fase fueron filamentos cortos y con defectos en cuanto a diámetro continuo, esto atribuible a una dificultad en la colección del material debido a que de la extrusora salía

PARÁMETROS DE IMPRESIÓN				
RoHS Compliant	Temperatura de impresión	Temperatura de plataforma	Velocidad de impresión	Tolerancia
PLA	190-220°C	Innecesario	40-100mm/s	0.02mm
ABS	220-240°C	80-120°C	40-100mm/s	0.02mm
HIPS	220-240°C	80-120°C	40-100mm/s	0.02mm
PETG	230-250°C	80-120°C	40-100mm/s	0.02mm
PLA cambio de color	190-210°C	80-120°C	40-100mm/s	0.02mm
PC	234-270°C	80-120°C	40-100mm/s	0.02mm
PA	230-260°C	80-120°C	40-100mm/s	0.02mm
PVA	190-210°C	80-120°C	30-60mm/s	0.03mm
MADERA	190-220°C	Innecesario	30-60mm/s	0.03mm
FLEXIBLE	190-210°C	Innecesario	30-60mm/s	0.03mm

Figura 10: Parámetros de operación en temperatura para filamentos comerciales

material a altas temperaturas y era incapaz de enfriarse únicamente a temperatura ambiente, originando que el filamento se pegase al carrete. Al mismo tiempo, cuando la temperatura se elevó, demasiado lo que se obtuvo fue un material quebradizo y de poca longitud (ver Figura 12).



Figura 11: Muestra de extrusión de PLA reciclado previo a la optimización de la extrusora

Al estar la extrusora construida con material reciclado, uno de los principales inconvenientes que se han tenido es la de los constantes ajustes a la misma. Por ello fue necesario realizar una segunda fase, misma que se describe a continuación.

Segunda fase: la temperatura logró ser controlada y además se realizó la implementación de un sistema de extracción de gases, en donde se obtuvieron filamentos más largos con la capacidad de ser enrollados que no solo demuestran por medio de esta capacidad su resistencia, sino que también reflejan flexibilidad.

El sistema de extracción de gases colocado al final de

la extrusora funge como refrigerante con lo que el fluido viscoso obtenido en la etapa anterior tiene el tiempo y la posibilidad de enfriarse mientras sale de la boquilla del equipo y con la ayuda de un sistema de colección por medio de un carrete automático, el filamento obtenido es visiblemente mejor que el de la primera etapa (ver Figura 13).

Actualmente, la extrusora aun cuenta con variables y piezas que deberán ser optimizadas, dentro de las que destacan y se tienen como prioridad: controlar las condiciones óptimas de velocidad y temperatura para una correcta extrusión del filamento, así como la boquilla extrusora que se pretende intercambiar por una boquilla en forma cónica.

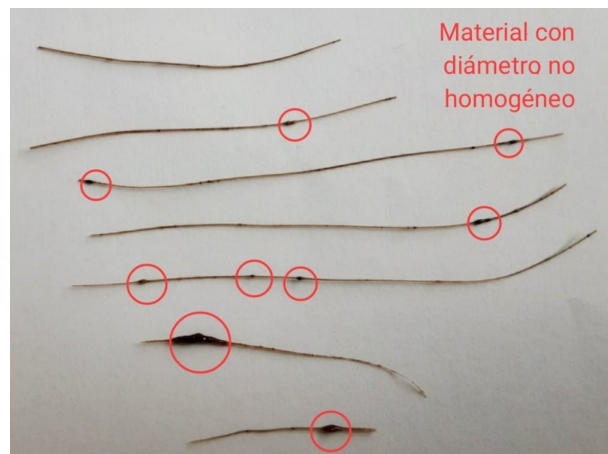


Figura 12: Muestra de PLA reciclado sin el uso de una campana de extracción de gases



Figura 13: Muestra de filamento extruido posterior a la optimización de la extrusora

IV. Conclusiones

Con este proyecto se ha logrado demostrar que el reciclaje de PLA es posible utilizando una maquina extrusora creada también con material reciclado. El proyecto tiene aún más etapas y se prevé que con un mejor análisis de las condiciones de operación del prototipo se puedan obtener en una tercera fase, filamentos de PLA idóneos para su aplicación en la impresión 3D, así como también poder incursionar con otros materiales plásticos.

La extrusora construida requiere de mejoras para optimizar su funcionamiento, tales como sus condiciones de operación, entre las que destacan un mejor control de la temperatura y la velocidad de extrusión, y del mismo modo, también es necesario el cambio de piezas que permitan un mejor desempeño, como lo es la boquilla de extrusión.

Si bien, aun se deben realizar más optimizaciones al proceso para la obtención de filamento reciclado, es un hecho que, una vez que se concluya con esta etapa, será posible reciclar una mayor cantidad de material, no sólo de PLA, sino también de los materiales que se utilizan para la construcción de la extrusora, que es de primordial interés con este proyecto y que marca una diferencia con respecto a las de más extrusoras en el mercado, que no son construidas con material reciclado. Además, se pretende poder escalarlo a nivel industrial y lograr una primera etapa de comercialización.

Referencias

- [1] Evangelia Balla et al. «Poly (lactic Acid): A versatile biobased polymer for the future with multifunctional properties—From monomer synthesis, polymerization techniques and molecular weight increase to PLA applications». En: *Polymers* 13.11 (2021), pág. 1822.
- [2] Caihan Zhu et al. «Realization of circular economy of 3D printed plastics: A review». En: *Polymers* 13.5 (2021), pág. 744.
- [3] Fernando Delgado Ayala et al. «Caracterización de filamento de PLA reciclado para impresión 3D». En: *Repositorio institucional de la Universidad de La Laguna* (2021), págs. 78-79.
- [4] Freddys R Beltrán et al. «Evaluation of the technical viability of distributed mechanical recycling of PLA 3D printing wastes». En: *Polymers* 13.8 (2021), pág. 1247.
- [5] *Noticias y artículos de del sector Plástico*. www.interempresas.net. URL: <https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/2600>.
- [6] *Archivo:Extrusora.svg - Wikipedia, la enciclopedia libre*. commons.wikimedia.org, feb. de 2014. URL: <https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Extrusora.svg#> (visitado 29-05-2023).
- [7] Gurcan Atakok, Menderes Kam y Hanife Bukre Koc. «Tensile, three-point bending and impact strength of 3D printed parts using PLA and recycled PLA filaments: A statistical investigation». En: *Journal of Materials Research and Technology* 18 (2022), págs. 1542-1554.
- [8] Vidhya Nagarajan, Amar K Mohanty y Manjusri Misra. «Perspective on polylactic acid (PLA) based sustainable materials for durable applications: Focus on toughness and heat resistance». En: *ACS Sustainable Chemistry & Engineering* 4.6 (2016), págs. 2899-2916.
- [9] K Jim Jem y Bowen Tan. «The development and challenges of poly (lactic acid) and poly (glycolic acid)». En: *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research* 3.2 (2020), págs. 60-70.
- [10] *poliláctico (PLA)*. URL: <https://www.textoscientificos.com/polimeros/acidopolilactico#:~:text=La%20temperatura%20de%20procesamiento%5C%20>.
- [11] Heriberto Julio Mejía Flores. «Ventajas y desventajas de las impresoras 3D». En: *Revista Tecnológica* 12 (2016), pág. 30.