



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO®



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO CAMPUS COLIMA

INGENIERÍA MECATRÓNICA

**Desarrollo de Máquina de Trituración y Extrusión
Automatizada Para la Producción de Filamento
Plástico PET Utilizados en Impresoras 3D**

Autores:

José Eduardo Cárdenas Ruiz

Humberto Vargas Cortés

Emilio Alejandro Mendoza Romero

Danna Patricia Espinosa Galindo

Luis Alejandro Contreras Gonzalez

Supervisor:

Guadalupe Mondragon Preciado

Presentado como protocolo de investigación por parte de la materia Taller de
Investigación I

Villa de Álvarez, Julio 2022

Resumen

Uno de los principales problemas desde la creación de embotellado de los plásticos y su gran producción, es su vida de utilidad y la administración de los residuos.

En el documento “Desarrollo de máquina de extrusión y trituración automatizada para la producción de filamento plástico PET utilizados en impresoras 3D” tiene como propósito el reutilizar el plástico y así disminuir la contaminación por el excesivo consumo de botellas plásticas.

Para cumplir este propósito, debe crearse la máquina de filamentos 3D, donde funcione de una manera correcta y rápida. El método deseado de crear filamentos a partir de botellas de plástico es crear gránulos y así poder utilizarlos para el procesamiento.

El diseño y construcción de una máquina triturador-extrusor para la producción de filamentos 3D permitirá recuperar, convertir y reutilizar los residuos plásticos como insumo para la impresora 3D, reduciendo así su impacto ambiental y la mala gestión de este recurso.

Palabras clave: impresión 3D; filamento; reciclaje; botellas PET; máquina; extrusora; trituradora

Índice

1. Introducción	1
2. Antecedentes del problema	2
3. Planteamiento del problema	3
4. Hipótesis	4
5. Objetivos de la investigación	4
5.1. General	4
5.2. Específicos	4
6. Justificación	4
7. Marco teórico	6
7.1. Procesos involucrados en transformación de PET	6
7.2. Funcionamiento de una trituradora de PET	7
7.2.1. Partes que conforman una trituradora de PET	8
7.3. ¿Qué es una máquina extrusora de plástico?	8
7.3.1. Tipos de extrusoras	9
7.3.2. Funcionamiento de una extrusora	10
7.3.3. Mantenimiento	11
7.4. Impresión e impresoras 3D	12
7.4.1. Composición y funcionamiento de una impresora	13
7.4.2. Formatos de archivo para impresoras 3D	14
7.4.3. ¿Qué es el Slicing para la impresión 3D?	14
8. Metodología	16
8.1. Consideraciones del diseño	16
8.2. Análisis de diseño	17
8.2.1. Trituradora	17
8.2.2. Extrusora	19

8.2.3. Embobinado	21
8.2.4. Diseño general	23
8.2.5. Automatización	24
8.3. Determinación del universo y obtención de la muestra	25
8.4. Tipo de estudio	25
8.4.1. Tipos de investigación	25
8.4.2. Variables	26
8.5. Plan de procesamiento y análisis de información	27
9. Cronograma	28
10.Presupuesto	29
Referencias	32

1. Introducción

Los plásticos son materiales indispensables con diversas propiedades y aplicaciones y forman parte de nuestra vida cotidiana desde hace alrededor de 100 años; han encontrado aplicaciones en la producción de envases, industria automotriz, electricidad, construcción y transporte, así como en medicina, agricultura entre muchas otras áreas.

Los plásticos han ganado interés y atención específicamente en aplicaciones relacionadas a la impresión 3D. La relación entre los plásticos y la impresión 3D existe donde una impresora 3D requiere una alimentación de material plástico conocida como filamento. Debido al gran crecimiento e impulso de esta tecnología, fabricantes así como entusiastas al tener que comprar estos filamentos a varios proveedores, el costo de la impresión aumenta. Por lo que surge una necesidad de adquirir estos filamentos de una manera más barata pero sobre todo, más ecológica.

Actualmente, la contaminación excesiva provocada por el mal manejo de los envases plásticos es un problema que crece día a día, el plástico es uno de los principales contribuyentes de las grandes cantidades de basura, cuya gestión supone un grave problema para la actualidad, así como para el futuro.

Nuestro objetivo principal es el diseñar y construir un equipo prototipo triturador-extrusor automatizado para reutilizar el material plástico tipo tereftalato de polietileno(PET) con la finalidad de producción de filamentos 3D que permitirán recuperar, convertir y reutilizar los residuos plásticos como insumo para impresoras 3D, reduciendo así su impacto ambiental y la mala gestión de este recurso.

2. Antecedentes del problema

Sandoya *et al* (Darwin y Christopher, 2021) desarrollaron la investigación “Diseño y construcción de un equipo triturador-extrusor de material plástico reutilizable tipo tereftalato de polietileno(PET) para la elaboración de filamento para impresoras 3D”. Los autores refieren que el objetivo de su investigación fue el de diseñar una trituradora–extrusora de material plástico reutilizable con el fin de reducir la contaminación causada por el excesivo consumo de productos envasados en botellas plásticas. Se llegó a la conclusión que a través de un proceso de diseño de 3 prototipos se seleccionó un diseño con las características optimizadas en los distintos aspectos considerados en el estudio, y se determinó que el equipo puede procesar un aproximado de 1 kg de plástico en 30 minutos. El aporte final del trabajo fue una máquina capaz de convertir plástico PET en filamento para impresoras 3D, de esta forma dándole un nuevo uso al plástico que pudo haber formado parte de la contaminación del planeta.

Dhopte *et al* (Dhopte, Parate, Narkhede, y Bhongade, 2022) presentan el diseño y el modelo de una máquina de filamentos y proponen una forma alternativa de crear filamentos ecológicos. Las investigaciones mostradas en el artículo permitieron el análisis del material creado el cual cuenta con mucho potencial, incluso en la promoción del reciclaje de residuos, y en el futuro, la creación de elementos duraderos. El método deseado de crear filamentos a partir de botellas de plástico o desechos plásticos es crear gránulos y luego usarlos para el procesamiento, este es un proceso más complicado y la máquina es mucho más grande, no tan compacta como la máquina presentada en este artículo.

Limón *et al* (Limón, Gómez, y Aranda, 2022) en el artículo titulado “Reciclaje de botellas de pet para manufactura aditiva”, los autores refieren que el objetivo de su investigación fue el de estudiar la posibilidad de utilizar las botellas de PET en la Manufactura Aditiva. La metodología utilizada fue experimental, documental y de campo. Como principal resultado se logró el objetivo de alimentar con filamento

reciclado la impresora 3D mediante un proceso artesanal, concluyendo de esta forma que es posible reciclar el PET en forma de filamento para posteriormente utilizarlo en impresoras 3D. Finalmente, el aporte de dicha investigación fue conseguir hacer filamento con las botellas de PET a través de un proceso artesanal y utilizarlo como materia prima en la impresora 3D.

3. Planteamiento del problema

Los plásticos forman parte de nuestra vida cotidiana desde hace alrededor de 100 años; todavía son materiales indispensables con diversas propiedades y aplicaciones. Estos son extremadamente versátiles, gracias a su alta resistencia mecánica, baja densidad, bajo peso, fácil procesamiento y bajo costo (Mwanzaa y Mbohwb, 2017), los plásticos han encontrado aplicaciones en la producción de envases, industria automotriz, electricidad, construcción y transporte, así como en medicina, agricultura entre muchas otras áreas.

Sin embargo, uno de los problemas principales desde la creación del embotellado de plástico y su gran producción, es el tema de su vida de utilidad y la administración del residuo. El plástico es uno de los principales contribuyentes de las grandes cantidades de basura, cuya gestión supone un grave problema para la actualidad, así como para el futuro. La producción mundial de plásticos en 2020 ascendió a 367 millones de toneladas métricas (Tiseo, 2022). Se prevé que este número se duplique en los próximos 20 años.

Los plásticos han ganado interés y atención específicamente en aplicaciones relacionadas a la impresión 3D. La relación entre los plásticos y la impresión 3D existe donde una impresora 3D requiere una alimentación de material plástico conocida como filamento. Debido al gran crecimiento e impulso de esta tecnología, fabricantes así como entusiastas al tener que comprar estos filamentos a varios proveedores, el costo de la impresión aumenta. Por lo que surge la necesidad de una máquina de fabricación de estos filamentos.

4. Hipótesis

Es posible la construcción de una máquina trituradora-extrusora automatizada para el procesamiento de material plástico reutilizable tipo tereftalato de polietileno(PET) para la elaboración de filamento para su posterior uso en la impresión 3D.

5. Objetivos de la investigación

5.1. General

Diseñar y construir un equipo prototipo triturador-extrusor de material plástico reutilizable tipo tereftalato de polietileno(PET) para la elaboración de filamento para impresoras 3D.

5.2. Específicos

- Diseñar el sistema de trituración capaz de transformar envases plásticos en pequeños trozos.
- Diseñar el sistema de extrusión de filamento a partir de pequeños trozos de plástico.
- Diseñar el sistema de embobinado para la recolección del filamento.
- Automatizar el sistema para optimizar los procesos de la máquina.
- Diseñar y fabricar el diseño combinando los sistemas de trituración, extrusión y embobinado.

6. Justificación

El procesamiento de los plásticos y la producción de filamentos para impresoras 3D están apegados a los principios de la economía circular siendo esta la intersección de los aspectos ambientales, económicos y sociales. Por lo tanto, se organizan muchos

proyectos educativos destinados a organizar eventos interactivos y difundir conocimientos sobre el reciclaje de plástico, siendo uno de estos, las diversas extrusoras a base de plásticos.

Actualmente, la contaminación excesiva provocada por el mal manejo de los envases plásticos es un problema que crece día a día, el sobreconsumo de la sociedad en la que vivimos y la falta de conciencia de las personas, además de que los envases son de alta durabilidad pero poca vida útil, como un envase PET, puede soportar 150 a 1000 años en descomponerse antes de desaparecer, causando perjuicios a la sociedad como el aumento de plagas, y una gran cantidad de residuos y plásticos que pueden acabar en el mar. El equipo triturador y extrusor propuesto tiene como objetivo reducir el impacto de la contaminación ambiental mediante la reutilización de envases de plástico PET desechados.

La economía circular está cada vez más presente porque está relacionada con la sustentabilidad, es por ello que se propone implementar un mecanismo automatizado para obtener filamento reciclando botellas de plástico descartadas, esperando que llame la atención de las personas y como consecuencia reducir el volumen de residuos plásticos.

Finalmente, el diseño y construcción de un triturador-extrusor para la producción de filamentos 3D permitirá recuperar, convertir y reutilizar los residuos plásticos como insumo para la impresora 3D, reduciendo así su impacto ambiental y la mala gestión de este recurso.

7. Marco teórico

7.1. Procesos involucrados en transformación de PET

La empresa Rosa Envases (Envases, 2020) nos dice que este material es uno de los más utilizados para la fabricación de envases gracias a sus características, entre las que se encuentra su facilidad de moldeo y por tanto de adaptación al formato que se desee realizar.

Además, el PET puede ser transformado por extrusión, inyección y soplado, siendo los más utilizados estos dos últimos procesos, que pueden darse de forma combinada (inyección-soplado) o de forma independiente. A continuación se muestra una breve descripción de Rosa Envases de ambos procesos

Proceso en una etapa

El proceso de inyección-soplado se realiza en una sola etapa y por tanto las máquinas implementan los dos pasos, inyección de preforma y soplado de envase, de manera que los envases se fabrican directamente desde la materia prima original. A nivel global no es la manera más habitual de transformar el PET, aunque presenta una serie de ventajas, como por ejemplo la facilidad que muestra si se quiere fabricar un envase con cuello distinto al de las preformas que se ofrecen habitualmente en el mercado.

Proceso en dos etapas

Este proceso, que es el utilizado en Rosa Envases y de manera global el más usado, en realidad serían dos, por un lado inyección de la preforma y por otro soplado del envase PET. En este caso, la preforma se puede inyectar en las mismas instalaciones en las que se produce el envase, almacenando y transformándola posteriormente, o se puede realizar en instalaciones distintas y transportarlas después al lugar en el que se encuentre la máquina de soplado de PET.

Las preformas PET son un producto intermedio utilizado en la fabricación de envases del mismo material. Se fabrican mediante inyección y varían en cuanto a las medidas del cuello, su gramaje, su color y su forma, de manera que pueden satisfacer las necesidades de clientes de diferentes sectores del mercado. En el caso de Rosa Envases, fabrican sus botellas PET a partir de preformas propias de dos gramajes diferentes y de otras fabricadas por nuestros proveedores en otros gramajes distintos a los de las primeras, todas ellas con cuello estándar 28/410 y todas personalizables en el color que se desee, tanto opaco como translúcido.

El proceso de soplado se puede llevar a cabo separado en el tiempo y en el espacio del proceso de inyección de preformas y consiste en el calentamiento de las mismas para conformar el envase PET definitivo.

7.2. Funcionamiento de una trituradora de PET

La División Medio Ambiente internaco (Ambiente, 2022) nos dice que las máquinas encargadas de procesar materiales PET son las trituradoras. Estas máquinas son de fácil manejo y además cuentan con un sistema de trabajo sencillo. Con tan solo apretar un botón, la trituradora, provista de unas cuchillas, comienza a triturar el plástico. Así, el proceso es tan sencillo como volcar el plástico en la máquina a través de su boca, pulsar el botón de triturado y esperar a que triture todos los residuos.

Contar con una trituradora PET aporta grandes beneficios para un negocio:

- Procesa el plástico de manera rápida
- La cantidad de PET triturada es muy grande
- Reduce el espacio de almacenamiento
- La máquina no hace ruido
- El consumo energético de una trituradora de PET es muy bajo

7.2.1. Partes que conforman una trituradora de PET

- 1) **Boca de entrada:** Su tamaño varía en función del tamaño de la trituradora y de la cantidad de plástico capaz de procesar. Esta boca está diseñada para evitar que se proyectan partículas de plástico al exterior durante el proceso de triturado.
- 2) **Cóclea:** También conocida como Tornillo de Arquímedes, esta parte de la trituradora se encarga del transporte del plástico.
- 3) **Motor:** De diferentes potencias, según la capacidad de la máquina.
- 4) **Rotor:** Sistema giratorio compuesto de cuchillas que se encargan de cortar y triturar el plástico PET.
- 5) **Tamiz:** Entramado de metal que solo permite el paso de los trozos más pequeños resultantes del proceso de triturado.

7.3. ¿Qué es una máquina extrusora de plástico?

Máquinas-Herramienta Corzosa (Corzosa, 2021) comenta que para entender qué es una máquina extrusora de plástico, primero debemos saber qué es el proceso de extrusión.

La extrusión consiste en calentar un material, normalmente pellets, polvo seco, caucho, plástico, barras de metal o incluso alimentos, y empujarlo a través de una matriz (ver Figura 1).

Por ende, la máquina extrusora de plástico es el equipo que se utiliza para completar el proceso de extrusión mediante un troquel. Un troquel es esencialmente el molde que da forma al material a medida que es forzado a través de la pequeña abertura hacia el otro lado. Es una de las formas más comunes de producir láminas y tiras de formas de metal, plástico y caucho.



Figura 1: Proceso de Extrusión. (Corzosa, 2021)

7.3.1. Tipos de extrusoras

Continuando con el artículo de Máquinas-Herramienta Corzosa, se afirma que hay dos tipos principales de extrusoras: de un solo husillo y de doble husillo (corrotante y contrarrotante). Estas vienen con una amplia gama de diámetros de tornillo (D), longitudes (L) y diseños.

- Las extrusoras de un solo husillo y de doble husillo corrotante son intrínsecamente extrusoras de canal abierto. Pueden considerarse bombas de flujo de arrastre. Su rendimiento o grado de llenado (si no funcionan a su máxima tasa volumétrica) puede verse afectado por el flujo de presión dentro de la máquina extrusora.
- Las extrusoras de doble tornillo contrarrotantes y estrechamente engranadas forman canales cerrados en la región de engranaje. Su rendimiento es menos vulnerable al flujo de presión dentro de la máquina extrusora. Por ello, pueden considerarse bombas de desplazamiento positivo.

7.3.2. Funcionamiento de una extrusora

El funcionamiento de las máquinas de extrusión es sencillo: los materiales plásticos crudos entran, el producto sale y se corta a medida.

A medida que el material se introduce en un extremo de la extrusora de plástico (una tolva), se funde gradualmente por el calor y la energía creados por los tornillos giratorios.

Estos tornillos están situados a lo largo del barril de la máquina donde se funden las materias primas. La mayoría de los tipos de tornillos tienen tres zonas diferentes para moverse a lo largo del proceso de extrusión:

- **Zona de alimentación:** Aquí es donde el material compuesto de plástico se introduce en la máquina de extrusión.
- **Zona de fusión:** La siguiente sección en el diseño del tornillo es donde se funde el plástico.
- **Zona de medición:** Por último, la zona de dosificación es donde se funden los últimos trozos de plástico y se mezclan para crear una temperatura y composición uniformes.

De igual manera Máquinas-Herramienta Corzosa indica que para garantizar que los materiales finales no se degraden o debiliten, es esencial mantener una temperatura constante dentro del barril de la extrusora. Hay que evitar el sobrecalentamiento de los materiales para reducir las imperfecciones, por lo que normalmente el barril se calienta gradualmente de atrás hacia adelante (ver Figura 2).

La temperatura también se mantiene mediante una serie de sistemas de ventilación y refrigeración por agua antes de que el producto se extruye en un molde.



Figura 2: Molde de extrusión. (Corzosa, 2021)

7.3.3. Mantenimiento

Máquinas-Herramienta Corzosa (Corzosa, 2021) nos afirma que la mayoría de las extrusoras están diseñadas y construidas para proporcionar el máximo servicio con un mínimo de tiempo de inactividad en la producción. Un programa de mantenimiento agresivo que incluya la programación de paradas periódicas para inspecciones de mantenimiento preventivo garantizará la máxima productividad.

Las claves del éxito de un programa de mantenimiento preventivo son la vigilancia y la documentación. La vigilancia debe ser constante y sus técnicos deben aprender a escuchar y buscar señales de problemas. La mayoría de los manuales de las extrusoras describen algún tipo de programa y procedimientos de mantenimiento.

7.4. Impresión e impresoras 3D

”Las impresoras 3D se empezaron a utilizar para las necesidades industriales, en especial para la creación de piezas para prototipos rápidos.” (Roca, 2021). Josep Roca afirma que gracias a esta tecnología se hizo posible crear piezas únicas dentro de un modelo más complejo sin necesidad de crear moldes especiales que requerían además desarrollar máquinas, proceso que retrasaba el despliegue de nuevos productos.

Las primeras impresoras 3D eran grandes y caras de utilizar, con el tiempo gracias a la mejora en la tecnología el coste de la impresión 3D ha ido bajando hasta ser posible tenerlas en casa. En cuanto a la calidad de los materiales estos han ido mejorando y ahora tenemos una gran cantidad de filamentos para crear todo tipo de modelos de manera fácil. Esto ha permitido que pequeños negocios puedan fabricar sus propios objetos en 3D para diversos usos.

Entre las impresoras 3D encontramos varios tipos de estas, pero en la que nos vamos a centrar es en las impresoras FSM, las cuales utilizan termoplásticos para funcionar y son las más comunes en los hogares. Este tipo de impresoras hacen uso de los filamentos de plástico PLA y ABS, aunque también se ha llegado a utilizar filamentos de madera, corcho e incluso el café. (ver Figura 3).

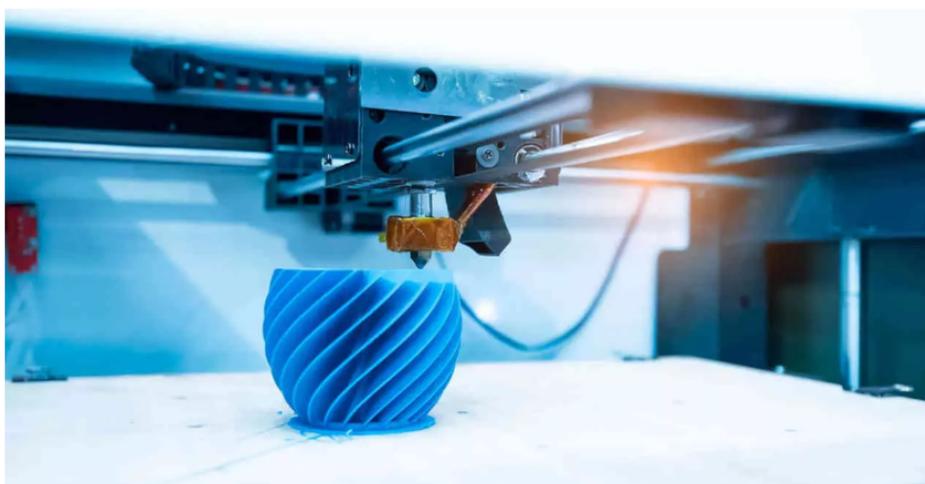


Figura 3: Impresión 3D con el uso de filamentos plásticos. (Roca, 2021)

Las impresoras SLA en cambio se basan en el uso de resinas, sus acabados son mucho mejores y permiten un mejor prototipaje. Hoy en día las SLA son ampliamente utilizadas para que no requieran color y en especial por los aficionados a las miniaturas y el modelismo, que suelen pintar ellos mismos los modelos que utilizan.

Las impresoras SLA suelen ser cerradas por los gases nocivos que genera la resina al calentarse. Por lo que son mucho menos seguros y no son recomendados para manos inexpertas.

7.4.1. Composición y funcionamiento de una impresora

Josep Roca (Roca, 2021) define el proceso de impresión en una impresora 3D como el siguiente:

- 1) Se carga el filamento de termoplástico en la impresora, el cual es alimentado en el extrusor. Dentro del cual es calentado hasta fundirse. El extrusor es muy parecido al funcionamiento de una pistola de cola caliente.
- 2) El extrusor se encuentra conectado a un sistema en tres dimensiones que le permite moverse en tres ejes distintos. De izquierda a derecha, de arriba a abajo y cerca y lejos.
- 3) La impresora imprime el objeto por capas, utilizando el filamento adecuado para cada uno. Muchas veces será necesario cambiarlo a mitad de la impresión.
- 4) El proceso de impresión es lento, ya que se ha de esperar que el material utilizado se solidifique, por ello algunas impresoras 3D suelen tener un pequeño ventilador conectado al extrusor. Con tal de conseguir que el modelo físico sea más fuerte, algunas impresoras suelen rellenar de más algunas partes del objeto.

La impresora irá imprimiendo capa por capa hasta terminar el objeto, proceso que según la impresora que utilicemos puede llegar a durar horas. (Roca, 2021)

7.4.2. Formatos de archivo para impresoras 3D

Utilicemos el método que utilicemos, los formatos de archivo más utilizados en la impresión 3D son los siguientes:

- **3D Manufacturing Format (3MF):** se trata de un formato basado en XML, y el estándar del consorcio 3MF. Almacena en su interior no solo los datos de la forma, sino también del color y el material utilizado.
- **Additive Manufacturing File (AMF):** otro formato XML con características similares al 3MF, ya que también almacena como información la forma, el material y el color.
- **Object file format (OBJ):** se utiliza como formato de imagen compatible entre varios editores 3D, pero no está

Estos formatos no son suficientes para poder imprimir un objeto en una impresora 3D, sino que es necesario el uso de programas Slicer. (Roca, 2021)

7.4.3. ¿Qué es el Slicing para la impresión 3D?

Josep Roca (Roca, 2021), define: Las impresoras 3D imprimen los objetos por capas, imprimiendo cada una encima de la otra en un proceso donde cada vez el modelo real va ganando más altura. Al contrario de otros métodos de impresión de objetos no estamos hablando de fundir un objeto en un molde o esculpir sobre una piedra.

Esto hace que sea necesario el uso de software que toma el modelo original y lo convierte en un formato de archivo donde se define como son cada una de las capas que forman el objeto a imprimir. Al proceso lo llamamos Slicing y este tipo de aplicaciones son Slicers.

No solamente transforman el modelo en una serie de capas que la impresora 3D puede utilizar, sino que en muchos casos nos permiten ajustar la altura de cada capa, la densidad de llenado, crear incluso soportes para que la estructura 3D se

sostenga por sí sola por si fuese necesario en medio de la impresión. Por lo que este tipo de software también forma parte del proceso creativo para poder obtener la mejor pieza posible. (Ver Figura 4)

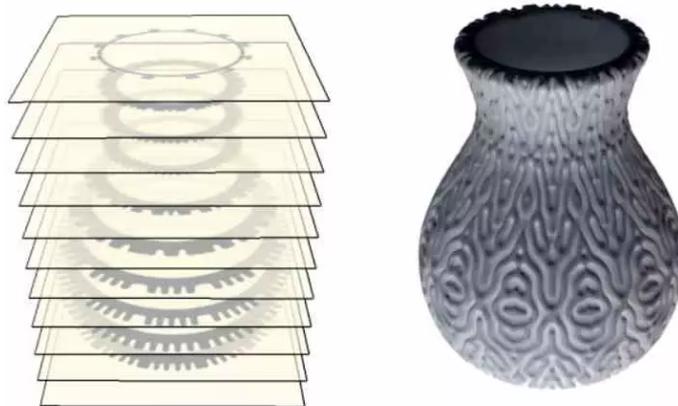


Figura 4: Ejemplo de Slicing en Jarrón. (Roca, 2021)

8. Metodología

8.1. Consideraciones del diseño

Se consideró la selección de materiales en función de la disponibilidad, la durabilidad, el costo y la facilidad de fabricación. El costo de la máquina se planea que sea relativamente bajo para que las personas interesadas puedan comprarla fácilmente. Las siguientes ventajas se obtuvieron a partir de las consideraciones de diseño: diseño razonable, estructura compacta, segura y duradera, de bajo nivel de ruido, fácil operación, diseño compacto, trabajo estable, fácil de mover, bajo consumo de energía, alta eficiencia de producción, razonable precio. Las consideraciones de diseño se pueden resumir así:

- **Disponibilidad de materiales de construcción:** en la construcción de la máquina se utilizarán componentes de fácil obtención. Para facilitar la fabricación y el desarrollo en el futuro, los materiales utilizados en la fabricación se obtienen fácilmente, como láminas de metal, barra angular, sierra de cinta, etc., que están fácilmente disponibles en el estado.
- **Accesibilidad:** El uso de materiales y componentes baratos y, sin embargo, efectivos como medio para lograr la rentabilidad en el curso del proyecto, lo que hace que la máquina sea relativamente barata y asequible.
- **Facilidad de operación:** con la provisión de motores eléctricos de potencia adecuada para impulsar la máquina, por lo tanto, la máquina será más fácil de operar y comprender para el operador.
- **Resistencia y durabilidad:** Para una mejor vida útil del dispositivo, se adoptarán materiales de considerable resistencia y durabilidad.
- **Tamaños de alimentación y producto:** El tipo de materiales a triturar son botellas de plástico PET.

8.2. Análisis de diseño

Los siguientes son el procedimiento de diseño y cálculo de cómo se determinan los parámetros de operación de las partes de la máquina.

8.2.1. Trituradora

Basados en un estudio de trituradoras actuales diseñadas para diferentes propósitos se planea un rediseño de la trituradora de Precious Plastic (ver Figura 5).

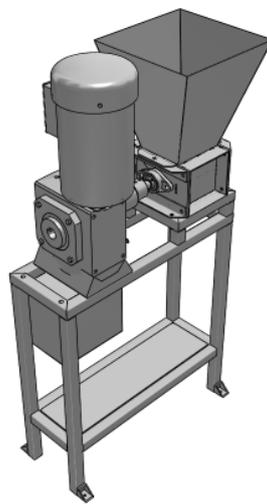


Figura 5: Modelo CAD de la trituradora de Precious Plastic.(Plastic, s.f.).

Los cambios a realizar en la trituradora son mínimos, el principal será la adaptación de la tolva de salida a la entrada de la extrusora que más adelante se mostrará, además las cuchillas así como el rotor están sujetos a cambios.

Maquinaria y habilidades requeridas

- Torno
- Soldadura (intermedio)
- Taladro de banco
- Mecanizado (intermedio)
- Máquina de soldar (no específica)
- Montaje (intermedio)
- Lijadora de banda
- Electrónica (intermedio)

Ficha técnica deseada

Cuadro 1: Los valores propuestos en esta tablas, son los deseados al momento de realizar la trituradora.

Tipo	Trituradora de un solo eje
Versión	1.0
Peso	90 kg
Dimensión	280×600×1142 mm
Ancho de hoja	5 mm, 6 mm
Voltaje	380V
AMP	5.8A
Potencia nominal	1.5 kW mínimo
Torsión nominal	300 Nm mínimo
Velocidad de salida	±70 r/min

Rotor y cuchillas

La diferencia más básica entre los diferentes diseños es el número de mangos de cuchillas. La mayoría de las trituradoras estudiadas eran de eje simple o doble, pero algunas de trabajo pesado incluso se fabricaron con cuatro. La ventaja obvia de tener varios ejes de cuchillas es, por supuesto, que el número de acciones de corte en un momento dado aumenta con el número de ejes, lo que aumenta la velocidad del proceso. Sin embargo, la principal ventaja con varios ejes parecía ser un aumento notable en su capacidad para arrastrar material a través de la máquina.

Electrónica

Los componentes eléctricos dentro de la trituradora son:

- **Motor:** Los músculos de la máquina - motor de aprox. 2.2kW que se reduce a 70 rpm.
- **Indicador LED:** LED que brillará con energía (a menudo se encuentra con el interruptor de encendido).
- **Cable de alimentación:** Cable de alimentación doméstico común.

Entrada y salida

La cantidad de plástico que se desea triturar será:

Tipo: PET

Espesor máximo: 4 mm

Tamaño de la tolva de entrada: 400×200 mm

Salida: ±10 kg/h

8.2.2. Extrusora

Analizando las diversas extrusoras existentes y comparando cada de una de estas se planea hacer un rediseño de la extrusora de Precious Plastic (ver Figura 6).

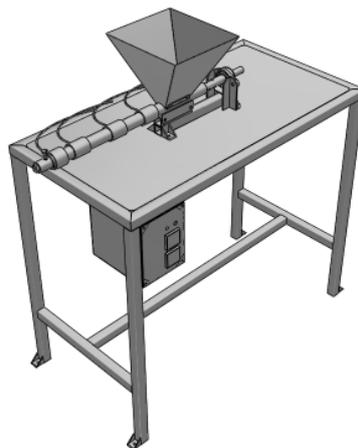


Figura 6: Modelo CAD de la extrusora de Precious Plastic.(Plastic, s.f.).

Aunque es una de las extrusoras más completas, el funcionamiento para la cual se diseñó, no es el requerido, sin embargo haciéndole algunas modificaciones, esta lo será.

Los principales cambios que se realizarán para el óptimo funcionamiento de esta, será la colocación de una boquilla de 1.75 mm de diámetro en la punta de la extrusora (por donde sale el plástico) esto debido a que en las impresoras 3D el filamento usado es de este diámetro generalmente.

A su vez se agregara un ventilador de 3.6" con el fin de ayudar al enfriamiento, recordemos que al momento de salir el filamento, éste se encontrara a una temperatura de alrededor de 180° por lo que es propenso a sufrir deformidades , por lo que la implementación de un ventilador ayudará a que este no pase.

Se planea usar dimensiones muy parecidas pero estas están sujetas a cambios durante el desarrollo del proyecto. Una vez realizados estos cambios se podrá generar el filamento con los requisitos necesarios.

Ficha técnica deseada

Cuadro 2: Los valores propuestos en esta tablas, son los deseados al momento de realizar la extrusora.

Tipo	Máquina de extrusión
Versión	1.0
Peso	35 kg
Dimensión	500×1020×1120 mm
Tamaño del tornillo	Barrena para madera de 26×600 mm
Voltaje	380V
AMP	5.8A
Potencia nominal	1.5 kW mínimo
Torsión nominal	109 Nm mínimo
Velocidad de salida	40-140 r/min

Maquinaria y habilidades requeridas

- Prensa de taladro
- Soldadura (intermedio)
- Máquina de soldar (no específica)
- Ensamblaje (intermedio)
- Amoladora angular
- Electrónica (intermedio)

Caja electrónica

Explicación de los componentes eléctricos dentro de esta máquina.

- **Controlador PID:** El cerebro de la máquina donde puede configurar las temperaturas deseadas. Enviará energía a los calentadores hasta que PV(variable

de punto) coincida con el SV(valor establecido). Lo hace usando lecturas del termopar y el SSR.

- **SSR:** El Relé de Estado Sólido es un «interruptor» electrónico que se abre y se cierra dependiendo de la señal que recibe (del PID).
- **Termopar:** Termómetro.
- **Calentador de banda:** Elemento calefactor que se coloca alrededor de una tubería.
- **Interruptor de encendido:** Interruptor mecánico.
- **Indicador LED:** LED que brillará con energía (a menudo se encuentra con el interruptor de encendido).
- **Cable de alimentación:** Cable de alimentación doméstico común.

Entrada y salida

La cantidad de plástico que se desea triturar será:

Tipo: PET

Espesor máximo: <5 mm

Salida: ±5 kg/h

8.2.3. Embobinado

Se requiere conseguir que la máquina realice una recogida automática del filamento en una bobina para así poder disponer del filamento para su posterior uso en la impresora 3D.

Por otra parte, esta zona de la máquina no resulta de vital importancia para el funcionamiento de la misma, pero siempre es necesario utilizar algún tipo de sistema que mantenga el filamento tenso a la salida de la máquina y así evitar que se puedan producir deformaciones indeseables en el filamento. Por eso, se requiere diseñar esta

zona para poder utilizarla como dispositivo de tensionado del filamento y al mismo tiempo realizar la recogida del mismo.

El mayor reto que se tiene al momento de desarrollar esta parte de la máquina es el calcular la velocidad a la cual debe que ir, ya que depende del flujo de filamento que la extrusora este proporcionando sin embargo este se puede ir ajustando manualmente hasta llegar a la tensión adecuada para su funcionamiento.

Teniendo esto en cuenta y comparando diseños ya existentes en el mercado, se optara por hacer el diseño encontrado en Printables (ver Figura 7), el cual es de dominio público por lo que no habrá problema en usarlo, este diseño cumplió de mejor manera con los requerimientos necesitados y a su vez es el más sencillo y fácil de usar.

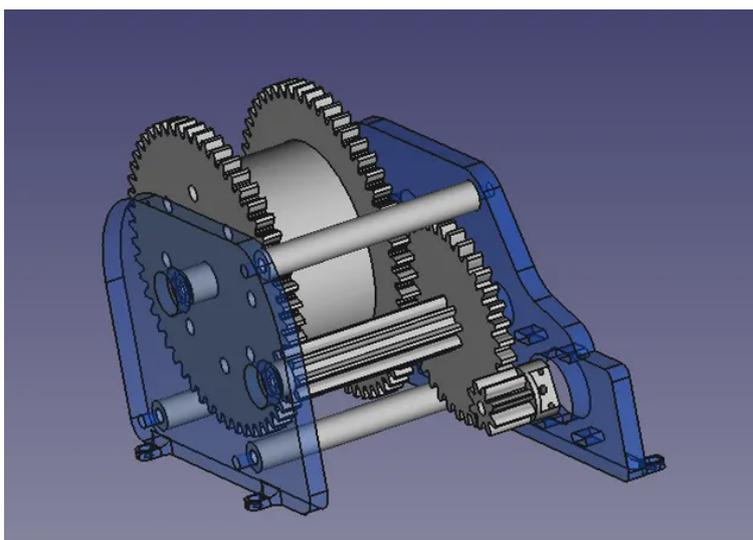


Figura 7: Sistema de embobinado de filamento. (Caracolmaker, 2021)

Para la elaboración de este diseño se necesitaran los siguientes materiales:

- 4 rodamientos 625zz
- 7 tornillos roscachapa 15 mm
- Espárragos de 120 mm de m5
- 12 tuercas m5.
- 8 tornillos con tuerca M3 de 50 mm abellanados a por de ser.
- Opcional 4 tuercas m5 autobloquantes.
- 1 placa madre

- Pantalla LCD
- Boquilla de 1.75 mm
- Bloque Calentador, extrusor Mk8
- Cables de conexión
- Imprimir los archivos ubicados en la página de Printables
- Ventilador de 3.6"
- Motor paso a paso

Una gran ventaja necesaria de resaltar del diseño, es que este esta hecho en su mayoría con partes impresas en 3D por lo que el costo será menor y si se llegara a dañar alguna parte, no habría ningún problema en remplazar y cambiar.

8.2.4. Diseño general

Se hará un diseño final para unir la trituradora, extrusora y el embobinado. El diseño final sera parte de la metodología y se tienen contempladas dos semanas para realizarse (ver Sección 9). Sin embargo, se realizaron dos modelos CAD cuyos propósito es mostrar una base del diseño a elaborar y mejorar (ver Figuras 8 y 9).

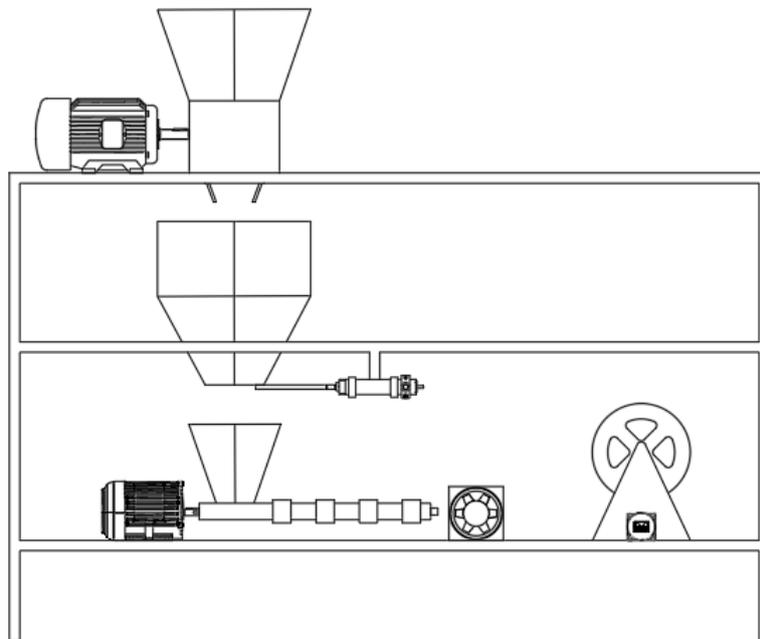


Figura 8: Primer modelo CAD del diseño general de la máquina.

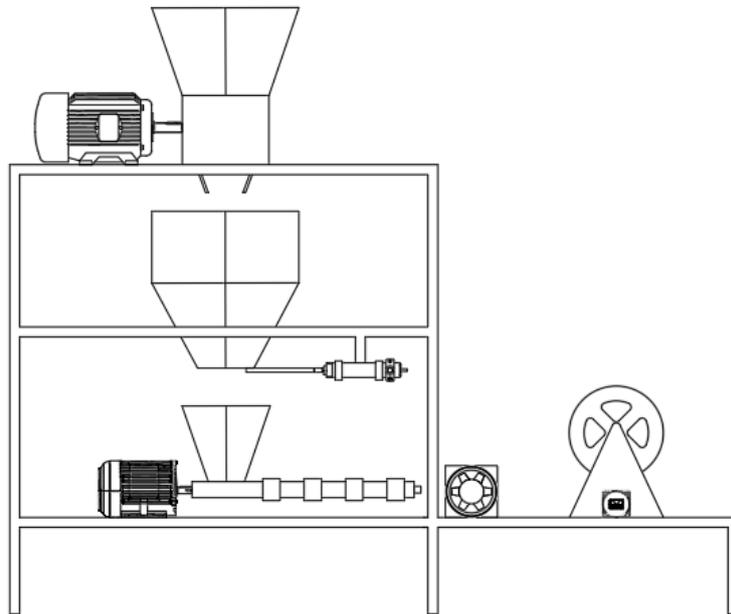


Figura 9: Segundo modelo CAD del diseño general de la máquina.

8.2.5. Automatización

Con el fin de automatizar los procesos involucrados en la trituradora-extrusora de filamento, se integrarán un conjunto de sensores, servomotores y motores encargados de automatizar el proceso, estos componentes estarían conectados a un microcontrolador cuya programación permitiría la automatización de la máquina trituradora-extrusora.

Dentro del plan de automatización del proceso se encuentra:

- Sensor de final de filamento. Mediante este sensor se espera que cuando la extrusora deje de hacer fluir el filamento este sensor lo detecte y detenga el triturador, los componentes que conforman la extrusora y el motor que enrolla el filamento en una bobina.
- Control sobre la velocidad con la que se embobina el filamento. Esta velocidad dependerá de la velocidad con la que el filamento sale de la extrusora y el aumento del diámetro del embobinado a medida que el filamento se va acumu-

lando en la bobina, con el fin de que el diámetro del filamento sea el adecuado y que no se parta.

- Sensor que indique cuando se llena el depósito donde se guarda el plástico triturado, una vez que el sensor detecta lo anteriormente mencionado, se detendrá el motor del triturador.
- Compuerta controlada por servomotores para regular el flujo de trozos de plástico triturado que pasarán a la extrusora. Esta compuerta sería dependiente del sensor de final de filamento, y de otro sensor encargado de indicar cuando el plástico triturado haya alcanzado una altura determinada en el recipiente donde se recolecta.

De esta manera se logrará un proceso de producción más controlado que si no estuviera automatizado, aumentando la velocidad de producción del filamento y reduciendo la probabilidad de que la calidad final del producto sea afectada por errores humanos.

8.3. Determinación del universo y obtención de la muestra

Dentro del *universo* de la presente investigación se encuentran escuelas de nivel medio superior y superior, industrias de fabricación de prototipos, y empresas dedicadas a la imprenta; Y en la *muestra* se tiene al Tecnológico Nacional de México Campus Colima, donde se realizará el proyecto, al igual que será el lugar donde se obtendrá el material a reciclar.

8.4. Tipo de estudio

8.4.1. Tipos de investigación

- **Investigación descriptiva**

Se utilizó este tipo de investigación porque a través de este se conceptualiza y explican las características más prominentes del proyecto dando, así como resultado una descripción de este y el contexto por el cual se realizó.

- **Investigación explicativa**

Este tipo de investigación dio pie a la explicación del porqué de nuestro proyecto buscando dar a entender que el plástico PET puede tener más usos para en este caso su uso en filamentos para impresoras 3D.

- **Investigación documental**

Se utilizó investigación documental porque toda nuestra información fue tomada de artículos, revistas, páginas web, foros, entre otros.

- **Investigación experimental**

Esta investigación forma parte debido a que al momento de la realización de la máquina se manipularan las variables para ver cómo afectan estas a la creación del filamento y analizar cuáles serán las más óptimas a utilizar.

8.4.2. Variables

Al momento de realizar el estudio de diseño y fabricación de la máquina triturador-extrusor se estiman que las variables a obtener sean:

1. Funcionamiento de la máquina

- Cantidad de plástico PET introducido a trituradora (medida en kg).
- Cantidad de plástico PET triturado (medida en kg).
- Cantidad de plástico PET introducido a extrusora (medida en kg).
- Longitud del filamento extruido (medida en cm).
- Velocidad a la que se enrolla el filamento (medida en cm/min).

2. Energía

- Temperatura de la máquina y de extrusión (medida en grados °C).
- Energía consumida por la máquina (medida en kW/h).

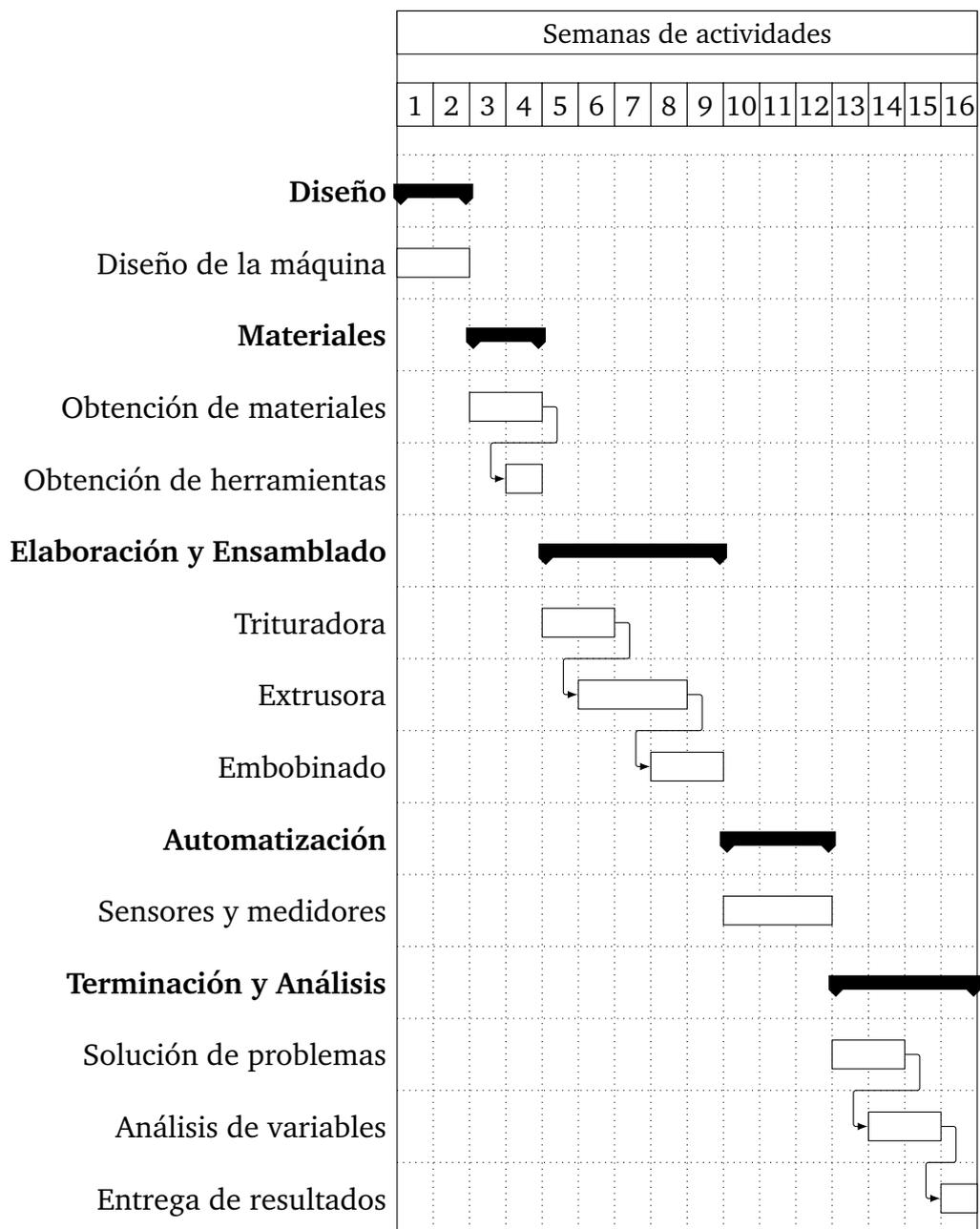
3. Propiedades del plástico PET post-extruido

- Densidad del plástico PET (medida en gr/cm³).
- Temperatura del filamento (medida en grados °C).

8.5. Plan de procesamiento y análisis de información

Dependiendo de los datos obtenidos al momento de realizar la máquina utilizaremos los métodos necesarios para poder procesar los datos obtenidos, en este caso se optara por la utilización de las tablas, gráficas, la agrupación por categorías, etc; con el fin de poder dar un sentido a los datos obtenidos.

9. Cronograma



10. Presupuesto

Cuadro 3: Presupuesto de la trituradora

Elemento	Articulo	Unidades	Precio por unidad	Costo	
Trituradora	Cuchillas	13	\$250	\$3.250	
	Separadores	15	\$50	\$750	
	Eje en forma hexagonal 2”(40cm)	1	\$350	\$350	
	Contrapiezas de cuchillas	30	\$100	\$3.000	
	Placa de cubierta	4	\$60	\$240	
	Placa de cubierta	1	\$50	\$50	
	Motor 1.5 hp	1	\$1.700	\$1.700	
	Reductor de velocidad	1	\$320	\$320	
	Cables	4	\$90	\$360	
	Caja de electrónica	1	\$35	\$35	
	Interruptor	1	\$69	\$69	
	Laminas de metal para tolva	4	\$45	\$180	
	Chumaseras	2	\$195	\$390	
	Total				\$10.694

Cuadro 4: Presupuesto de la extrusora

Elemento	Articulo	Unidades	Precio por unidad	Costo
Extrusora	Tapón de latón	1	\$30	\$30
	Acoplador eléctrico o de plomería	1	\$27	\$27
	Tubo de acero 1/2”(6”)	1	\$40	\$40
	Tubo de acero 1/2”(6.5”)	1	\$45	\$45
	Sensor final de filamento	1	\$185	\$185
	Boquilla de 1.75 mm	1	\$13	\$13
	Bridas de 1/2 pulgada con agujeros	2	\$42	\$84
	Broca de 5/8 de pulgada	1	\$436	\$436
	Cojinete de 1/2 pulgada	1	\$36	\$36
	Perfil cuadrado de 1/2”(1m)	1	\$350	\$350
	Planchas metálicas	4	\$220	\$880
	Tuercas m5	8	\$4	\$32
	Tornillos 7cm	8	\$2	\$16
	Motor de 60 rev/min(1hp)	1	\$743	\$743
	Termostato	1	\$97	\$97
	Resistencias en forma de abrazaderas	3	\$524	\$1.572
	Delet de estado solido	1	\$139	\$139
	Controlador de datos	1	\$568	\$568
	Batería de 12 V	1	\$249	\$249
	Controlador de motor	1	\$499	\$499
Total				\$6.041

Cuadro 5: Presupuesto del embobinado

Elemento	Artículo	Unidades	Precio por unidad	Costo
Embobinadora	Rodamientos 625zz	4	\$5	\$20
	Tornillos roscachapa 15 mm	7	\$4	\$28
	Espárragos de 120 mm de m5	3	\$6	\$18
	Tuercas m5	12	\$4	\$48
	Tornillos con tuerca M3 de 50mm	8	\$8	\$64
	Tuercas m5 autoblocantes	4	\$5	\$20
	Placa madre de ender 3	1	\$525	\$525
	Pantalla LCD de ender 3	1	\$298	\$298
	Bloque Calentador,extrusor Mk8	1	\$48	\$48
	Cables de conexion	3	\$23	\$69
	Impresiones	1	\$40	\$40
	Ventilador de 3.6"	1	\$55	\$55
	Motor paso a paso	1	\$249	\$249
	Total			

Cuadro 6: Presupuesto de la automatización de la máquina

Elemento	Artículo	Unidades	Precio por unidad	Costo
Automatización	Panel view 4"	1	\$1.458	\$1.458
	PLC	1	\$852	\$852
	Pistón lineal eléctrico dc 50mm/150N	1	\$359	\$359
	Sensor de nivel	2	\$270	\$540
	Botón de paro de emergencia	1	\$467	\$467
	Total			

Cuadro 7: Presupuesto de otros materiales

Elemento	Artículo	Unidades	Precio por unidad	Costo
Otros	Estructura para montaje de 3 niveles	1	\$856	\$856
	Tolva de almacenamiento	1	\$750	\$750
	Total			\$856

Tomando en cuenta los cuadros 3, 4, 5, 6 y 7 y sumando el total de cada uno, el presupuesto para la elaboración del proyecto es:

Total: \$22.749

Referencias

- Ambiente, I. M. (2022). *que es una trituradora pet y cómo funciona* (Inf. Téc.). Queirua, A Coruña, España: Autor. <https://internacomedioambiente.es/noticias/que-es-una-trituradora-pet-y-como-funciona/>. pages 7
- Caracolmaker. (2021). *Extrusora de filamento pet. diy filament machine*. (Inf. Téc.). Printable. <https://www.printables.com/es/model/88300-extrusora-de-filamento-pet/remixes>. pages 22
- Corzosa. (2021). *Maquinas extrusoras: Que son, tipos y para qué sirven* (Inf. Téc.). Gijón, España: Autor. <https://www.corzosa.com/extrusora/>. pages 8, 9, 11
- Darwin, S., y Christopher, M. (2021). *Diseño y construcción de un equipo triturador-extrusor de material plástico reutilizable tipo tereftalato de polietileno (pet) para la elaboración de filamento para impresoras 3d* (Inf. Téc.). Los Ríos, Ecuador: Universidad Técnica Estatal de Quevedo. pages 2
- Dhopte, P. V. D., Parate, G. S., Narkhede, M. P., y Bhongade, A. (2022). Design and Fabrication of PET Filament Making Machine. *International Journal for Research in Applied Science And Engineering Technology (IJRASET)*, 10(5), 1529–1531. pages 2
- Envases, R. (2020). *procesos de transformación del pet* (Inf. Téc.). Albacete, España: Autor. <https://rosaenvases.com/blog/procesos-transformacion-pet/>. pages 6
- Limón, A. G., Gómez, P. T., y Aranda, S. B. (2022). Reciclaje de botellas de pet para manufactura aditiva. *REVISTA INCAING*, 88–96. pages 2
- Mwanzaa, B. G., y Mbohwb, C. (2017). Drivers to Sustainable Plastic Solid Waste Recycling: A Review. *Procedia Manufacturing*, 8, 649–656. pages 3
- Plastic, P. (s.f.). *shredder starterkit* (Inf. Téc.). One Army. <https://preciousplastic.com/starterkits/showcase/shredder.html>. pages 17, 19
- Roca, J. (2021). *Conoces las impresoras 3d pero, ¿sabes cómo funcionan en realidad?* (Inf. Téc.). Desconocido: HZ Hardzone. <https://hardzone.es/reportajes/>

que-es/impresoras-3d/. pages 12, 13, 14, 15

Tiseo, I. (2022, enero). *Global plastic production 1950-2020*. <https://www.statista.com/statistics/282732/global-production-of-plastics-since-1950/>.

pages 3

