

Implementación de un prototipo de máquina extrusora de filamento RPET de impresión 3D

Implementation of a prototype of a 3D printing RPET filament extruder machine

Abraham Chuzon Benites, Kevin Mio Maza,
Saúl Hernández Moreno, Juan Vives Garnique

Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Universidad Señor de Sipán, Correo, Orcid: cbenitesabraham@crece.uss.edu.pe, <https://orcid.org/0000-0002-5486-2314>
mmazakevinfabia@crece.uss.edu.pe, <https://orcid.org/0000-0002-4499-8920>
hmorenosaulandr@crece.uss.edu.pe, <https://orcid.org/0000-0002-4586-8685>
jvives@uss.edu.pe, <https://orcid.org/0000-0003-0988-9881>

Resumen— Este artículo presenta la propuesta de investigación cuyo objetivo es diseñar y construir una extrusora innovadora capaz de procesar polímeros termoplásticos y reciclar los residuos de impresión 3D en un laboratorio universitario. El resultado será la producción de filamentos de RPET (Polietileno Tereftalato Reciclado) con un diámetro de 1,75 mm, adecuado para ser utilizado en impresoras 3D. Los métodos VDI 2221 y 2225 se aplican para determinar la estructura de la extrusora, así como sus componentes mecánicos y eléctricos, junto con los cálculos necesarios para asegurar una construcción precisa. El crecimiento exponencial de la impresión 3D ha llevado a un aumento en la generación de residuos de plásticos termoplásticos utilizados en este proceso. Con el objetivo de abordar este desafío y promover prácticas sostenibles, se propone el desarrollo de una extrusora especializada que permita reciclar estos materiales y producir filamentos RPET de alta calidad para la comunidad del laboratorio de impresión 3D de la Universidad Señor de Sipán. Para llevar a cabo esta investigación, se emplearon los métodos de diseño y análisis VDI 2221 y 2225. Estos enfoques se aplicarán para determinar la estructura óptima de la extrusora, sus componentes mecánicos y eléctricos, así como para realizar los cálculos necesarios para asegurar el cumplimiento de los requisitos de producción..

Palabras clave— RPET, husillo, filamento, extrusora, norma VD 221.

Abstract— This article presents the research proposal whose objective is to design and build an innovative extruder capable of processing thermoplastic polymers and recycling 3D printing waste in a university laboratory. The result will be the production of RPET (Recycled Polyethylene Terephthalate) filaments with a diameter of 1.75 mm, suitable for use in 3D printers. VDI methods 2221 and 2225 are applied to determine the structure of the extruder, as well as its mechanical and electrical components, along with the necessary calculations to ensure accurate construction. The exponential growth of 3D printing has led to an increase in the generation of thermoplastic plastic waste used in this process. In order to address this challenge and promote sustainable practices, the development of a specialized extruder is proposed to recycle these materials and produce high-quality RPET filaments for the community of the 3D printing laboratory of the Señor de Sipán

University. To carry out this investigation, the VDI 2221 and 2225 design and analysis methods were used. These approaches will be applied to determine the optimal structure of the extruder, its mechanical and electrical components, as well as to perform the necessary calculations to ensure compliance. of production requirements.

Keywords— RPET, screw, filament, extruder, standard VD 221.

I. INTRODUCCION

Un proceso de extrusión genera un tipo de filamento delgado, este tipo de filamento es el adecuado, para el proceso se utiliza la impresión 3D. Mediante la extrusión del plástico PET (este es el componente adecuado), la materia prima se localiza de forma de escama y luego se introduce en una tolva arriba en el barril de la máquina extrusora. Todas las pequeñas partes de PET son trasladadas por la acción de la gravedad, a su debido momento por la tolva. Los elementos entran a través de la fuente de alimentación y entran en contacto con el tornillo. La varilla roscada da un giro utilizando un motor, pero este a bajo revoluciones, y por lo tanto la cámara del cañón se calienta, mediante un elemento llamado (calentador cerámico), esto se genera con un grado de temperatura de 230 a 2500 °C [1]. Se refiere a la fabricación de los componentes compuestos, mediante base de termoplásticos, teniendo en cuenta diferentes cosas, incluyéndose la selección de dicha materia, los conceptos de cualquier tipo de diseño, también cuáles son las técnicas de fabricación. [5]. Existen dos tipos de métodos existentes, que desarrollan la función de preparar todo referente al componente principal, hacia la fibra de carbono dúctil reforzados (CFRP): gránulos de plástico reforzado con fibra y reforzado con fibra directa termoplástica. En el primer tipo de método, los gránulos fibrosos semiacabados se fabrican primero y luego se llevan a un procesado, por un moldeo por inyección o también por un moldeo por compresión. Mediante el segundo tipo de método, fibras, resinas y aditivos relacionados se combinan en la extrusora, y el compuesto el material se moldea en un producto final, por un tipo de inyección o moldeo por compresión [2]. Estos dispositivos son muy costosos, sin mencionar el costo de importación. Actualmente hay dos equipos comerciales destacados: FilaStruder y ProtoCycler..

- a) FilaStruder: La idea principal de FilaStruder es brindar acceso a los productos necesarios para crear impresiones 3D en casa, a un costo menor. Esta máquina tiene un concepto de DIY Do it Yourself (hágalo usted mismo) y se puede comprar con todos los componentes e instrucciones para su ensamblaje. Este producto solo funciona con polímeros de PLA y ABS, según requisitos estrictos y precisos, sin garantizar un funcionamiento perfecto.
- b)



Figura 1:Fila Struder [3].

Fuente 1: Groover, M. P. (1997). Fundamentos de manufactura moderna: materiales, procesos y sistemas. Pearson Educación.

- c) ProtoCyclr: ProtoCyclr es una revolucionaria unidad de reciclaje de filamentos que fusiona el proceso de molienda y preparación de filamentos en una sola máquina. Su funcionamiento está orientado hacia plásticos como el ABS y PLA, con la promesa de poder trabajar con residuos plásticos en un futuro, aunque aún no se han concretado los detalles al respecto. Este producto hizo su entrada en el mercado en enero de 2016, pero desde entonces ha enfrentado algunos problemas de funcionamiento, como la constante incorporación de nuevas aplicaciones de software y dificultades

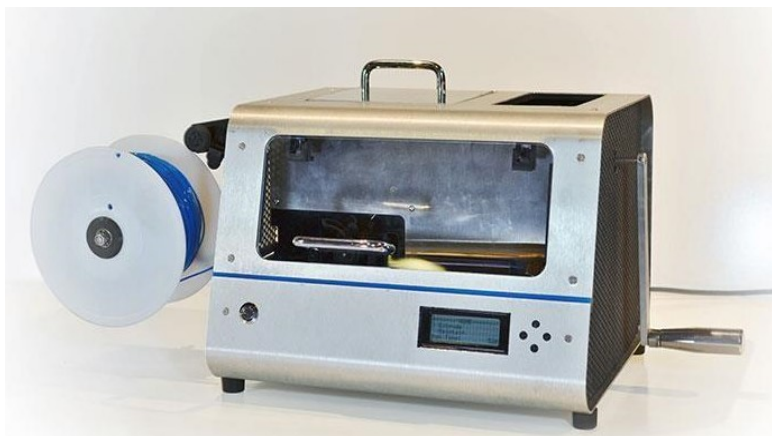


Figura 2: ProtoCyclr. [3].

Fuente 2: Groover, M. P. (1997). Fundamentos de manufactura moderna: materiales, procesos y sistemas. Pearson Educación.

La impresión 3D representa un beneficio académico como herramienta didáctica para el proceso de aprendizaje en temas de ingeniería y diseño [9]. Esta permite el prototipado de diseños personalizados y geometrías complejas. [10, 11]. A continuación, para el desarrollo del artículo, comenzaremos con necesidad inicial, que se analizará más a fondo y se basará en el análisis especificado se planteará el problema al que se proporcionará una solución a medida para la búsqueda de patentes en las máquinas o procesos ya desarrollados están debidamente patentados que se asemejan al propósito del artículo, habrá una pregunta una matriz de ideas aleatorias tratando de elegir a través de la discusión y análisis entre los autores del proyecto para encontrar la solución más probable y resolver el problema original, A continuación, se analizarán los aspectos que es necesario tener en cuenta. como: fuerza necesaria para triturar un mineral, escalas de dureza de diferentes minerales semejantes a los deseados para el proyecto, energía para la molienda, la potencia, densidad de partícula, volumen de alimentación en la molienda (caudal de entrada)

II. DESARROLLO DEL ARTÍCULO

A. NECESIDAD PRIMITIVA:

La necesidad inicial de un prototipo de extrusora de filamentos de RPET (Tereftalato de Polietileno Reciclado) para impresión 3D surge por varias razones:

- Falta de recursos: La producción masiva de plásticos y la falta de sistemas de reciclaje adecuados han provocado una importante acumulación de residuos plásticos, incluidos los RPET. La necesidad de utilizar estos materiales reciclados de manera eficiente y sostenible es fundamental para reducir el impacto ambiental.
- Desarrollo sostenible: la impresión 3D se considera una tecnología más sostenible en comparación con los métodos de producción tradicionales. Al desarrollar una extrusora de filamentos RPET para impresión 3D, los residuos plásticos se pueden utilizar y darles una segunda vida, reduciendo la dependencia del plástico primario y la huella ecológica asociada [8].
- Menores costos: RPET es un material más económico en comparación con las fibras plásticas utilizadas en la impresión 3D. Con el desarrollo de una extrusora de filamentos RPET, el filamento reciclado se puede producir de manera más económica, haciéndolo más accesible para los usuarios de impresión 3D.

- **Personalización:** la impresión 3D permite fabricar productos a la medida de las necesidades individuales. Al eliminar la extrusora de filamentos RPET, los usuarios pueden crear objetos personalizados a partir de material reciclado.
- **Innovación tecnológica:** La creación de una extrusora de filamentos RPET para impresión 3D representa un avance tecnológico. Este tipo de desarrollo fomenta la investigación y los avances en la fabricación aditiva y la gestión y el reciclaje de plásticos. En conclusión, la necesidad primitiva de un prototipo de máquina de extrusión de fibra RPET para impresión 3D surge de la necesidad urgente de abordar la escasez de recursos, promover la sostenibilidad, reducir costos, permitir la personalización de la impresión.

B. ANÁLISIS DE LA NECESIDAD PRIMITIVA:

La impresión 3D es una tecnología en constante evolución que hace posible la creación 3D a partir de modelos digitales. El filamento RPET (tereftalato de polietileno reciclado) es un material preferido debido a su durabilidad, resistencia y durabilidad. El diseño de una extrusora de filamentos de PET reutilizable específicamente para la impresión 3D puede proporcionar una opción eficiente y sostenible para la fabricación de filamentos.

RPET es un plástico reciclado hecho de botellas de plástico PET. Utilizar RPET en la impresión 3D ofrece varias ventajas:

- Sostenibilidad
- Personalización y flexibilidad
- Reducción de costos
- Acceso a materiales reciclados

Al contar con una máquina extrusora propia, los usuarios pueden utilizar plástico reciclado en la impresión 3D, promoviendo aún más la sostenibilidad y reduciendo la dependencia de materias primas vírgenes. Al evaluar la necesidad inicial de un prototipo de máquina extrusora de filamentos RPET, se debe tener en cuenta los siguientes factores:

- **Diseño mecánico y fabricación:** conocimientos avanzados de extrusora de filamentos en ingeniería de fabricación y conocimientos en procesos de ingeniería mecánica. Además, se deben considerar las normas y estándares de seguridad adecuados.
- **Costo y oportunidad:** El costo de desarrollar un prototipo de extrusora de filamentos puede ser significativo. Es necesario realizar un análisis de costos y evaluar la viabilidad económica del proyecto.
- **Competencia en el mercado:** Antes de emprender el desarrollo de un prototipo, es importante investigar el mercado para determinar si existen otras máquinas extrusoras de filamento RPET disponibles comercialmente y evaluar la competencia existente.

El desarrollo de un prototipo de máquina extrusora de filamento RPET de impresión 3D puede satisfacer la necesidad de personalización, reducción de costos y acceso a materiales reciclados. Sin embargo, se deben considerar los aspectos de diseño, fabricación, costos y competencia en el mercado antes de embarcarse en el proyecto.

- **Contexto:** Un material común utilizado en la impresión 3D es el filamento de plástico, que se alimenta a través de una boquilla caliente para crear objetos sólidos. El RPET (Polietileno Tereftalato Reciclado) se ha convertido en un material popular debido a su naturaleza reciclada y su capacidad para ser utilizado en la impresión 3D.
- **Necesidad:** La necesidad de un prototipo de máquina extrusora de filamento RPET de impresión 3D surge de la demanda de una solución sostenible y rentable para producir filamento RPET de alta calidad para su uso en impresoras 3D [6]. Actualmente, la mayoría de los filamentos de impresión 3D en el mercado están hechos de plásticos vírgenes, lo que contribuye a la acumulación de residuos plásticos. La máquina extrusora de filamento RPET permitiría reciclar botellas de plástico PET y convertirlas en filamento RPET de calidad, brindando una opción ecológica y económica para la comunidad de impresión 3D.

Un prototipo de máquina extrusora de filamento RPET de impresión 3D tiene varias ventajas y necesidades básicas:

- **Sostenibilidad:** La necesidad de desarrollar tecnologías y procesos más sostenibles es cada vez más evidente. El prototipo de extrusora de filamentos RPET ayudará a lograr este objetivo al permitir la producción de filamentos impresos en 3D utilizando plástico reciclado.
- **Disponibilidad del Material:** El uso de PET reciclado como material flexible para la impresión 3D requeriría una cantidad suficiente de este material reciclado. Es importante verificar la disponibilidad de RPET en el lugar o área donde se realizará el prototipo de extrusora. Si la disponibilidad es limitada, puede ser necesario hacer acuerdos con proveedores de materiales reciclados o considerar métodos locales de recolección y reciclaje.
- **Calidad del filamento:** Para garantizar la impresión 3D de calidad alta, es fundamental que el filamento producido por la máquina extrusora sea uniforme en diámetro y tenga propiedades físicas consistentes. El prototipo de la máquina debería tener la capacidad de controlar y ajustar de manera precisa la temperatura, la velocidad de extrusión y otros parámetros relevantes para obtener un filamento de calidad.
- **Diseño y eficiencia de la máquina:** El prototipo de la máquina extrusora debería ser diseñado de manera eficiente y optimizada para su funcionamiento. Se requerirían componentes robustos y duraderos que soporten las condiciones de trabajo continuo. Además, se debe tener en cuenta aspectos como la seguridad, la facilidad de uso y el mantenimiento para garantizar un funcionamiento adecuado y seguro del prototipo.
- **Verificación y prueba:** Se requerirán más pruebas del extrusor prototipo antes de la implementación completa para evaluar su rendimiento, eficiencia y calidad del filamento. Esto puede incluir probar la resistencia del filamento, probar la compatibilidad con las impresoras 3D existentes y compararlo con los filamentos estándar.

C. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El problema es desarrollar y crear un prototipo funcional de la máquina extrusora RPET para su uso en impresoras 3D. RPET es un material de plástico procesado ampliamente utilizado en la fabricación de contenedores y botellas de bebidas, y su uso en la impresión 3D puede ayudar a promover la estabilidad y la eliminación en esta industria.

El objetivo principal es desarrollar una máquina extrusora que pueda procesar correctamente y derretir el RPET rediseñado, convirtiéndola en un hilo de alta calidad y consistencia para el uso posterior en las impresoras 3D.

El éxito de este proyecto se medirá por la capacidad de un prototipo para producir RPET de alta calidad y homogéneo.

Por lo tanto, el problema es el desarrollo, la creación y las pruebas de los filamentos RPET prototipo que son resistentes en la producción aditiva.

D. REVISIÓN DE SOLUCIONES EN EL PASADO

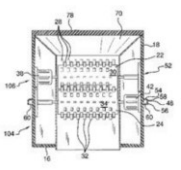
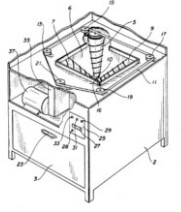
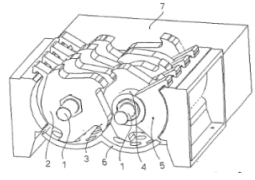
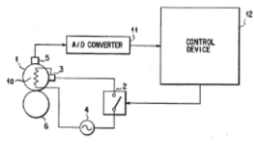
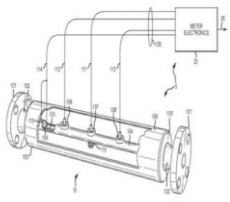
- a. **ESTADO DEL ARTE:** Considerando la problemática a abordar, procederemos a analizar distintas máquinas extrusoras disponibles en el mercado, las cuales compiten directamente con el modelo que estamos desarrollando. Estas máquinas extrusoras servirán como una valiosa base de datos de información para nuestro proyecto.
- b. **ESTADO DE LA TÉCNICA:** Se llevó a cabo una investigación exhaustiva sobre el estado de la técnica a nivel nacional e internacional, centrada en las patentes más relevantes relacionadas con la invención en cuestión, utilizando varios motores de búsqueda. A continuación, se presenta un resumen de los resultados de la búsqueda.

A continuación, se proporciona una lista de los resultados de la búsqueda.

Patentes:

Se solicita una patente para aquellos componentes y dispositivos que realizan una función relacionada con el diseño del dispositivo. Las patentes con nombres, códigos, funciones y descripción disponibles.

Tabla 1: Con 2 secciones (dibujo patente con referencia- descripción).

Patente #1 - Triturar		
Nombre	Plastic shredder	Figura
Código	US 8393562	
Descripción	Trituradora de plástico, almacenamiento directo. Tiene dos rodillos, uno superior y otro inferior, paralelos entre sí.	
Patente #2 - Triturar		
Nombre	Automatic plastic crusher apparatus	Figura
Código	US 5102057	
Descripción	Máquina automática para triturar plástico mediante cilindro cónico eléctrico. Cada cilindro tiene dientes afilados dispuestos a lo largo de la superficie en espiral.	
Patente #3 - Triturar		
Nombre	Two-shaft industrial shredder	Figura
Código	US 20050242221	
Descripción	Trituradora industrial, para diversos materiales. Consta de dos ejes contra rotativos, paralelos entre sí, de los cuales son cuchillas con dientes y espaciadores.	
Patente #4 - Control de Temperatura		
Nombre	Temperature controller	Figura
Código	US 5412453	
Descripción	Un controlador de temperatura que detiene la operación cuando la temperatura excede un nivel de operación preestablecido.	
Patente #5 - Control de Temperatura		
Nombre	Multiple temperature sensor system	Figura
Código	US 20130223480	
Descripción	Múltiples sensores de temperatura, redes de sensores, incluidas resistencias de sensores de temperatura. Tiene un controlador de medición de temperatura	

Patente #6 - Control de Temperatura		
Nombre	Extruder and temperature control apparatus therefor	Figura
Código	US 3866669	
Descripción	Un dispositivo que mantiene constante la temperatura del tanque del extrusor, calienta el en diferentes grupos de por corriente. Tiene controles de temperatura.	
Patente #7 - Extrusión		
Nombre	Plastic extrusion	Figura
Código	US 4118163	
Descripción	Una extrusora de tornillo que expulsa la masa fundida a través de un orificio central en el tornillo. La temperatura de fusión es ajustable de forma independiente, genera una presión significativa en el trabajo	
Patente #8 - Extrusión		
Nombre	Injection moulding machine	Figura
Código	US 6200126	
Descripción	Molde de inyección alimentado por tornillo con orificio axial en la salida. Este diseño hace que esta máquina sea fácil de limpiar y mantener.	
Patente #9 - Enrollar Filamento		
Nombre	Reel	Figura
Código	US 6200126	
Descripción	Carrete de eje fijo, manual, para enrollar cable a través de tambor rotativo.	
Patente #10 - Enrollar Filamento		
Nombre	Reel	Figura
Código	WO 1999055613	
Descripción	Carrete de eje fijo, manual, para enrollar cable a través de tambor rotativo.	

E. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

El objetivo principal del diseño es producir soluciones a través de un conjunto de ideas que se representan esquemáticamente y se presentan en una matriz morfológica. El análisis de variantes se realiza en base a parámetros de diseño.

Las posibles soluciones son las siguientes:

Alternativa 1.

Opción 1, la parte de trituración se enciende con un interruptor hecho a mano con un martillo para reducir el desperdicio, tiene un calentador de correa para extrusión, a medida que gira el husillo, el doble husillo se mueve con un hábil pedal cuando. Salida, Hay una boquilla escalonada, refrigeración por agua con un pequeño motor para girar el material, cerrar es lo mismo que abrir, todo esto se puede ver en la Ilustración. La solución requiere de mano de obra porque se activa con el pie, parcialmente inadecuado porque el eje no gira con suavidad, y el uso de un martillo, lo que no garantiza que el material sea apto para fundir, y otro inconveniente es el uso de refrigeración por agua, porque su uso requiere todo el sistema de drenaje y esto aumenta el costo de producción de la máquina. En el lado positivo, lo principal es el uso de dos husillos, porque permite una mejor homogeneización del material, y la ausencia de un interruptor reduce el costo de producción de la máquina.

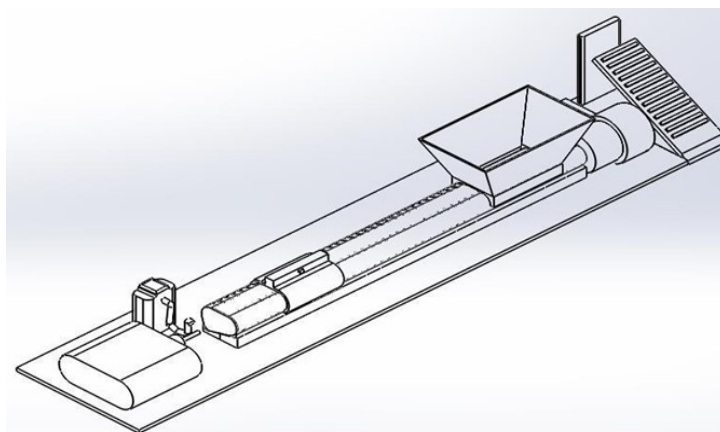


Figura 3: Solución N°1.

Alternativa 2.

La solución 2 elige utilizar un botón para iniciar y detener la máquina, se debe reemplazar la trituradora de dientes para procesar el material, el calentador se usa para iniciar el proceso de extrusión, cubre el exterior de la máquina y regula la temperatura en el interior. , el material es procesado por un tornillo conectado a un motor y transferido a la sección del filtro, donde las impurezas son eliminadas por una malla metálica equipada con extremos cónicos, y se utiliza una matriz plana para el procesamiento final del material. tamaño y detalles. Durante la hilatura y el almacenamiento, hay un ventilador eléctrico al final de la máquina para aclimatar el material a la temperatura ambiente, y al final, un motor eléctrico recoge los hilos con un impulsor.

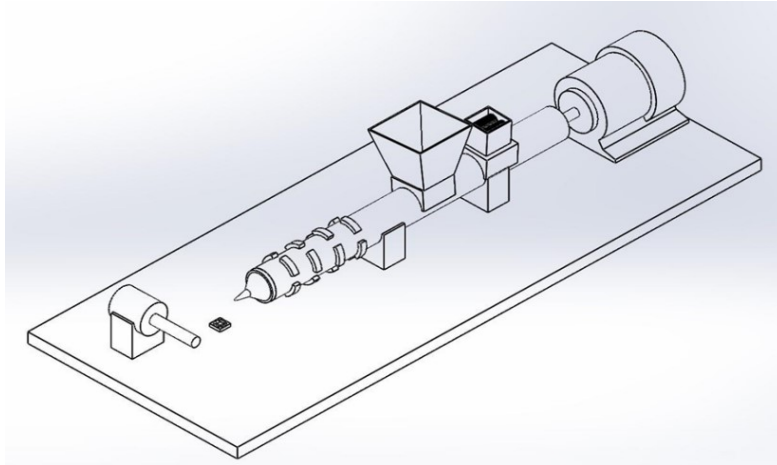


Figura 4: Solución N°2.

Alternativa 3.

Solución 3, al inicio y final del recorrido, se utiliza el botón de la manija para iniciar y detener el movimiento de la máquina, cuenta con cuchillas de corte para el proceso de molienda, procesando el material a la temperatura de extrusión. Usando un calentador de cuarzo, se requiere fuerza humana para girar el eje y el eje con una manivela, las impurezas se filtran a través de una placa de metal perforada, se usa una forma cónica para formar el filamento y se instala un ventilador eléctrico externo para completar el proceso.

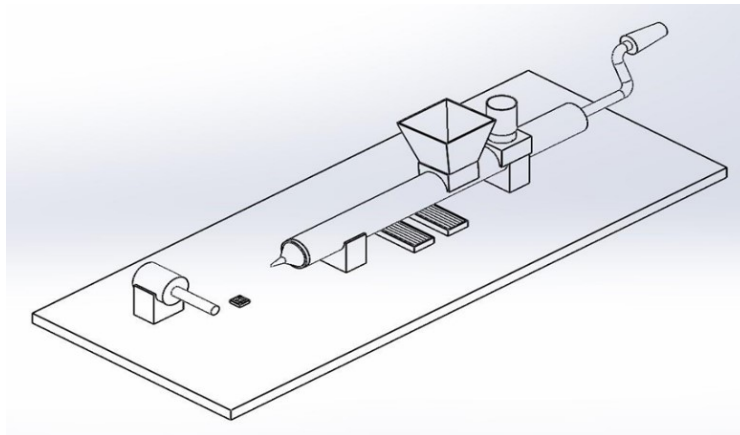


Figura 5: Solución N°3.

F. MATRIZ DE DECISIÓN

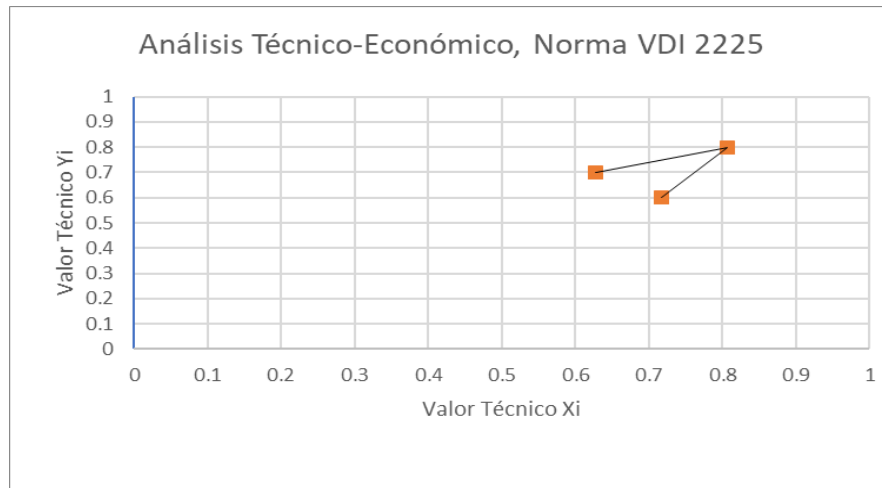
Evaluación Técnica – Económica:

El análisis técnico se realizará considerando las etapas de selección de la lista de deseos y necesidades, considerando siempre el propósito de la máquina y el uso correcto de sus partes, el análisis económico mostrará cuál de los modelos propuestos. en efectivo o en pequeñas cantidades.

Tabla 2: Evaluación Técnica.

DISEÑO MECÁNICO-EVALUACIÓN DE PROYECTOS Valor económico (y)				universidad señor de Sipán Ingeniería Mecánica eléctrica						
Proyecto: PROTOTIPO DE MÁQUINA EXTRUSORA DE FILAMENTO RPET										
p: puntaje de 0 a 4 (Escala de valores según VDI 2225)										
O=NO satisface, 1= Aceptable a las justas, 2=Suficiente, 3=Bien, 4=Muy bien (ideal).										
G= es el peso ponderado y se da en función de la Importancia de los criterios de evaluación.										
Criterios de evaluación para diseños en fase de conceptos o proyectos										
Variante de concepto/proyectos		Solución 1			Solución 2		Solución 3		Solución ideal	
No	criterios de evaluación	g	p	g*p	p	g*p	p	g*p	p	g*p
1	número de piezas	4	2	8	3	12	3	12	4	16
2	costo de materiales	4	3	12	2	8	2	8	4	16
3	fácil adquisición de materiales	4	3	12	3	12	2	8	4	16
4	facilidad de montaje	4	3	12	4	16	3	12	4	16
5	facilidad de mantenimiento	4	3	12	4	16	2	8	4	16
puntaje máximo Σgp		56			64		48		80	
valor técnico y_i		0.7			0.8		0.6		1	

Tabla 3: Evaluación Técnica – Económica.



Como se puede ver en el gráfico, la idea de la respuesta #2 es la mejor ideal para la solución perfecta para la producción de filamentos 3D en forma de extrusión es la mejor para satisfacer las necesidades y objetivos predeterminados.

a. Comprensión de solución:

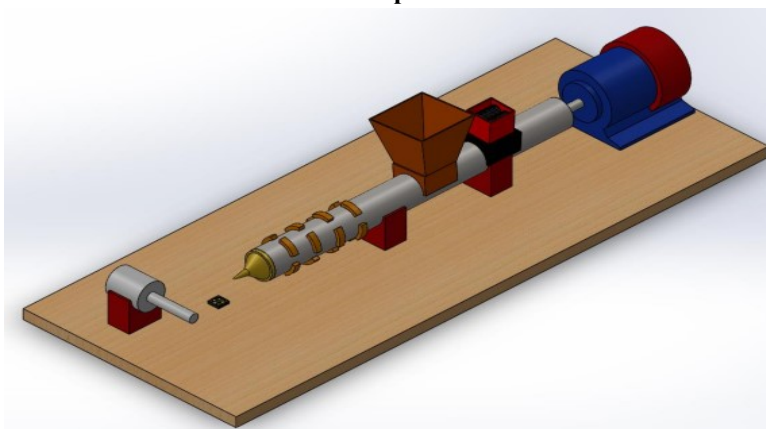


Figura 6: concepto de solución N°2.

De acuerdo con el análisis realizado, se seleccionó la solución #2 debido a la incorporación de una trituradora de plástico que facilita la producción de pellets pequeños, minimizando además el riesgo de accidentes que podría presentarse en la solución #1, donde se emplea un martillo y fuerza manual con el pie, o en la solución #3, que utiliza una manivela operada manualmente. La solución #2, al integrar un motor, proporciona un giro uniforme y una potencia constante, con la opción de ajustar estas características en caso de que se desee procesar materiales distintos al RPET. En cuanto al sistema de calefacción, se optó por cuatro calentadores de mordaza debido a su eficiente acoplamiento al barril, lo que asegura una distribución térmica adecuada. Alternativamente, el uso de calentadores de cuarzo no fue viable ya que no se pueden ubicar correctamente y no alcanzan la temperatura requerida para este proceso. Las boquillas seleccionadas son de origen comercial, eliminando la necesidad de maquinado adicional, lo que simplifica la producción. Los ventiladores se emplean para el enfriamiento del filamento, ya que presentan un bajo costo y cumplen con los requisitos de disipación de calor. Además, su integración permite un control eficiente del encendido y la carga térmica. Finalmente, los controladores de botón fueron elegidos por su facilidad de operación, permitiendo una gestión sencilla y precisa de los parámetros operativos. Este apartado complementa y amplía la información que no se había detallado en las fases anteriores del proyecto.

III. DISEÑO PRELIMINAR

Cálculo del husillo

De acuerdo con Savgorodny nos menciona que tanto el diámetro y longitud deben estar en una relación entre 20 y 30 por lo tanto se define para el husillo un diámetro (D) de 23 mm y la longitud (L) de 460 mm, con estos datos hallaremos la relación de L/D. [7].

Tabla 4: parámetros de cálculo de usillo.

Longitud	460 mm
Diámetro	23 mm
Paso del husillo	18.4 mm
Profundidad del canal	3.68 mm
Anchura de la cresta del filete	1.38 mm
Holgura	0.069 mm



Figura 7: Diseño de husillo con los datos calculados.

Cálculo de esfuerzos del husillo

Para hallar la fuerza del Husillo se definió que la extrusora va a procesar 2 kg equivalente a 4,4 lb y la gravedad específica del material en este caso RPET es de 1.38 g/cm³ entonces usamos las siguientes ecuaciones, el material del husillo debe tener una alta dureza para poder minimizar el desgaste generado por las partículas abrasivas.

Tabla 3: Esfuerzos del husillo.

Revoluciones Por Minuto	13 RPM
Potencia requerida por el husillo	111.8 Watts
Diámetro del alma	13.8 mm
Presión Especifica	8.76 MPa
Fuerza axial	2332 N
Momento de giro	82.05 N.m
Carga repartida	38.62 N.m
Flecha máxima	4.79E-5 m
Esfuerzo von mises	79.81 MPa
Momento Flector	4.08 N/m
Factor de seguridad	14

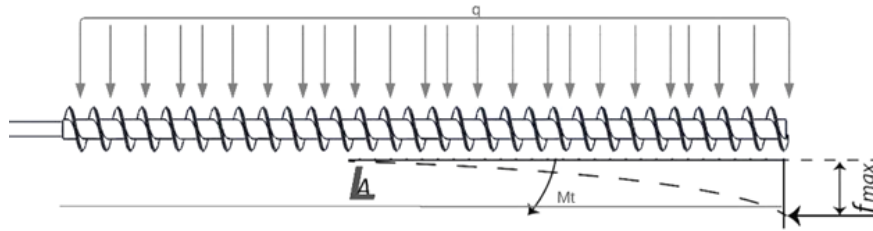


Figura 8:Fuerza del husillo.

Cálculo del barril

Para el cálculo del barril se escogió un material acero AISI/SAE 316 debido a sus características de Fuerza de producción de 205 GPa y una resistencia a la tracción de 515 GPa y su resistencia a la corrosión.

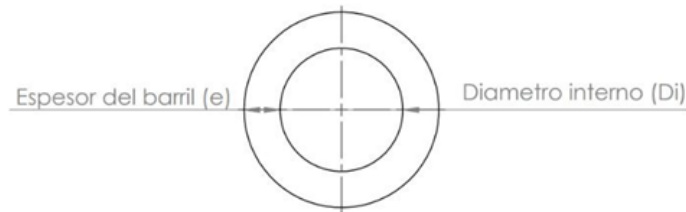


Figura 9:Dimensión del barril.

para poder diseñar el barril se necesitará un acero AISI/SAE 316 que es acero inoxidable con un diámetro interno de 23.14 mm y un espesor de 7 mm

Cálculo de la Tolva

Las dimensiones “A” fue cinco veces más grandes que “a” y “B” diez veces más grande que “b”, H fue la mitad de h se escogieron así para poder tener una proporcionalidad en el diseño y la longitud de la apertura(La) y ancho de apertura (Aa) se adecuando a las dimensiones del barril y su capacidad de volumen, en la tabla se aprecian las dimensiones asignadas, el volumen que puede soportar la tolva satisface al volumen del material que se quiere procesar, en la Figura 42 se aprecia el diseño de la tolva.

Tabla 4:Dimensiones de la tolva.

a= 0.0342 m	A= 0.171 m
b= 0.016 m	B= 0.16 m
h= 0.1 m	H=0.2 m
La= 0.034.17 m	Aa= 0.016 m

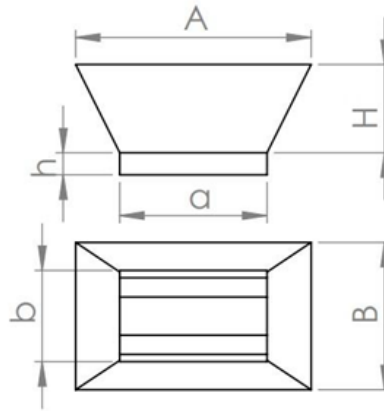


Figura 10:dimensiones de la Tolva.

Cálculo de calentadores

Se utilizarán 4 calentadores de 200 Watts cada uno, lo que sumará un total de 800 watts. Estos calentadores realizarán dos funciones fundamentales: proporcionarán el calor necesario a la y cubrirán un área suficiente para que el material alcance su temperatura óptima de trabajo y moldeado. La potencia requerida para el proceso es de 696.41 Watts, y los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 5:Cálculo para la selección de calentadores.

Coefficiente de transferencia de calor	12 [W/m ² -K]
Perdida de calor por radiación	29.25 [Watts]
Perdida de calor por Convección	74.34 [Watts]
Potencia requerida	696.41[Watts]
Potencia de 4 calentadores	800 [Watts]

Con la ecuación determinamos el aumento de temperatura respecto al tiempo la cual se aprecia en la Figura.11.

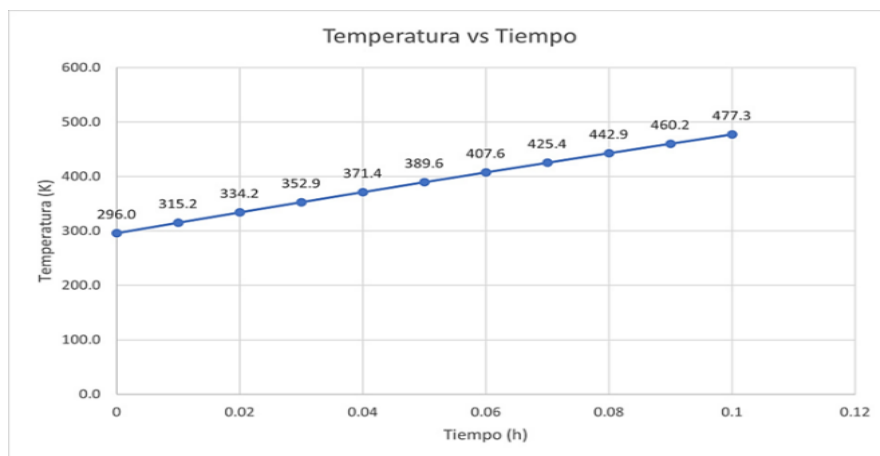


Figura 11:Cambio de temperatura respecto al tiempo.

Se puede observar que con los calentadores la temperatura en el husillo va a llegar a 453 [K] en 0.085 h que es equivalente a 5 minutos. En el siguiente punto se calculará aislantes para saber si se puede reducir este tiempo.

Cálculo de Aislamiento

Debido a que el proceso de calentamiento tarda alrededor de 5 min, utilizaremos aisladores para poder reducir este tiempo, el material del aislamiento es fibra cerámica de 2 pulgadas.

Conductividad térmica de la fibra cerámica: $k: 0.45 \text{ [W/m-K]}$

Calor específico de la fibra de la fibra cerámica: $C_p.: 1130 \text{ [J/kg-K]}$

Cuando se agrega un uso, se logra un nuevo valor de calor real de 758.56 watts. Al compararlo con el calor anterior en la Figura, se observa que el aumento de temperatura respecto al tiempo es mínimo, solo 0,08 horas. Por lo tanto, no es necesario utilizar los refrigerantes para calentar inicialmente el barril. Sin embargo, son indispensables para mantener la temperatura de trabajo y evitar la pérdida de calor al ambiente.

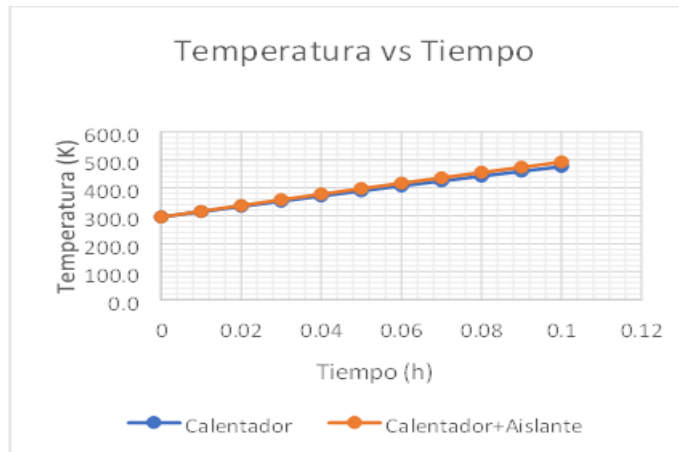


Figura 12: Variación de temperatura con el aislador.

Cálculo de Ventilador

Antes de proceder con el cálculo del ventilador, se fija la temperatura de salida del material a 185°C con un caudal de $5,55 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$, y la temperatura ambiente se establece en 23°C.

Tabla 6: Cálculo para la selección de ventilador.

Coefficiente de transferencia de calor $[\text{W}/\text{M}_2\text{-K}]$	281.36
Potencia calorífica del ventilador [Watts]	25.1
Número de Reynold	1039.46
Calor total [J]	0.000669
Potencia calorífica del ventilador [Watts]	25.1

Cálculo del eje de transmisión

Para el diseño del eje de transmisión, se aplicaron la teoría del esfuerzo cortante máximo y la teoría de Von Mises, utilizando un esfuerzo admisible para el acero AISI 4340 de 1110 MPa. Tras los cálculos correspondientes, se determinó que el eje tendrá un diámetro de 15 mm y una longitud de 70 mm, logrando un factor de seguridad de 12.25. El diseño final del eje puede observarse en la Figura correspondiente.

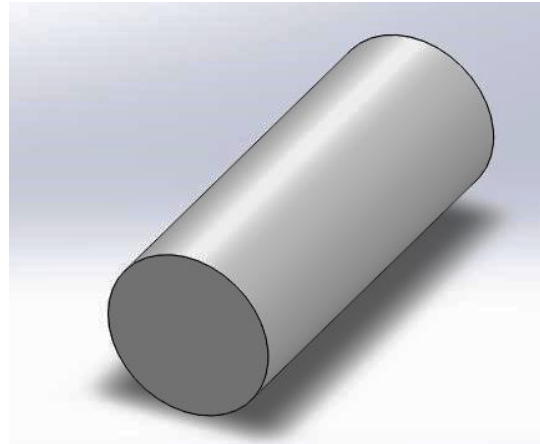


Figura 13::Diseño de eje antes del husillo.

Cálculo de la chaveta en el eje

El material de la chaveta será un acero SAE 1020, laminado en frío, La fuerza aplicada sobre la superficie del eje.

Tabla 7:Dimensiones de la chaveta.

Diámetro del árbol d, mm	Medida nominal de la chaveta, mm			Medida nominal del chavetero, mm			
	bxh	Chafilán S		Profundidad		Radio r	
		Max	Min	En el árbol, t1	En el cubo, t2	Max	Min
6 a 8	2x2	0,25	0,16	1,2	1	0,16	0,08
8 a 10	3x3			1,8	1,4		
10 a 12	4x4			2,5	1,8		
12 a 17	5x5	0,4	0,25	3	2,3	0,25	0,15
17 a 22	6x6			3,5	2,5		
22 a 30	7x7			4	3,3		
22 a 30	8x7			4	3,3		
30 a 38	10x8	0,6	0,4	5	3,3	0,4	0,25
38 a 44	12x8			5	3,3		
44 a 50	14x9			5,5	3,8		
50 a 58	16x10			6	4,3		
58 a 65	18x11			7	4,4		
65 a 75	20x12	0,8	0,6	7,5	4,8	0,6	0,4
75 a 85	22x14			9	5,4		
85 a 95	25x14			9	5,4		
95 a 110	28x16			10	6,4		
110 a 130	32x18	1,2	1	11	7,4	1	0,7
130 a 150	36x20			13	8,4		
150 a 170	40x22			13	9,4		
170 a 200	45x25			15	10,4		
200 a 230	50x26			17	11,4		

IV. SELECCIÓN DE COMPONENTES EXTERNOS

Motor Eléctrico

Para el motor principal, se determinó que la potencia requerida es de 111 W con una velocidad de 13 RPM. En función de estas especificaciones, se seleccionó un motorreductor de 24 V con velocidad ajustable, cuya potencia varía entre 90 W y 15 kW, y con diámetros de eje que oscilan entre 10 mm y 31 mm. A diferencia de los motores eléctricos convencionales, los motorreductores permiten operar a velocidades determinadas (RPM) sin pérdida significativa de potencia, además de proporcionar una transmisión de potencia eficiente, lo que mejora el rendimiento general del sistema.



Figura 14: motorreductor de 90 watts - 1500 watts.

Calentadores

De acuerdo con los criterios establecidos para la Solución n.º 2, se seleccionaron cuatro calentadores tipo abrazadera de latón de 200 W cada uno. Estos calentadores cuentan con un diámetro ajustable entre 25 mm y 150 mm, y un rango de altura que varía entre 25 mm y 70 mm, lo que proporciona flexibilidad para adaptarse a diferentes configuraciones. Estos parámetros pueden modificarse según sea necesario para optimizar el desempeño térmico en función de los requisitos del sistema.



Figura 15: Calentador de 200 Watts.

Controlador de temperatura

Para automatizar el sistema de calentamiento de la extrusora y controlar la temperatura de los calentadores, se utilizará un controlador de temperatura digital equipado con un sensor de temperatura y un regulador de potencia. Este sistema de control supervisará continuamente la temperatura y ajustará el suministro de energía al calentador según sea necesario, garantizando así una operación eficiente y precisa del sistema de calentamiento



Figura 16:Controlador de temperatura.

Ventiladores

De acuerdo con los cálculos obtenidos para el enfriamiento del filamento se optó por un ventilador de 1500 RPM con un diámetro de 90 mm y una altura de 25 mm



Figura 17:Ventilador XTECH XTA102 de Xtech.

Placa Rompedora

Para el disco perforado se toma el diámetro exterior e interior del cañón y se une una rosca exterior al cañón y una rosca interior al disco perforado, diámetro 38 mm, material acero. Para los filtros el material será de acero inoxidable.



Figura 18:Diseño de la placa rompedora.

Troquel

Dado que el filamento debe tener un diámetro final de 1,75 mm, es necesario seleccionar un troquel que garantice dicho diámetro y pueda soportar las fuerzas de extrusión. El troquel seleccionado debe tener una entrada de 10 mm y una salida de 1,75 mm, con un diseño cónico en su parte interna para facilitar el flujo del material, pero manteniendo una forma no cilíndrica en su exterior para evitar posibles deformaciones estructurales durante el proceso de extrusión.



Figura 19:Diseño del troquel.

Motor Secundario

Para el motor auxiliar, necesita saber la velocidad de salida del filamento. Según Pala, la velocidad de salida del PLA es 0,0279 para el diámetro de 1,75 mm, 0,02 para el diámetro de 3 mm y el impulsor de 9 cm de diámetro exterior. Por lo tanto, la velocidad de rotación requerida.



Figura 20: Motor de CC de 6 RPM.

Rodete

El impulsor se calcula seleccionando la velocidad del motor auxiliar, y se selecciona un impulsor con un diámetro interno de 30 mm y un diámetro del eje del motor de 6 mm.

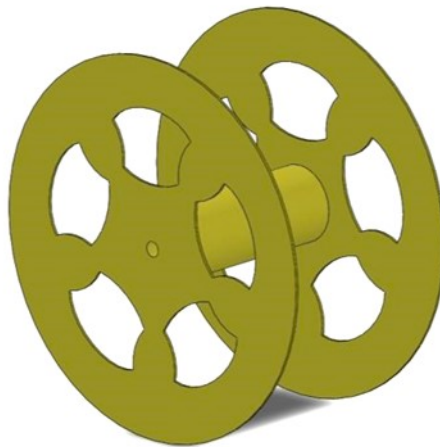


Figura 21: Rodete.

Trituradora

Para la selección de una trituradora, se analizaron los datos y se llegó a la siguiente conclusión: es necesario un equipo con una capacidad de producción de 0,5 kg por hora, una velocidad de 15 RPM y una potencia de 335 W. Este equipo será utilizado para procesar residuos de termoplásticos generados por las impresoras 3D. Se optó por una trituradora de tamaño compacto, capaz de cumplir con los requerimientos de manejo y disposición de los residuos plásticos generados en el laboratorio.



Figura 22: Máquina de trituración.

Conclusión de componentes externos:

Después de seleccionar componentes adicionales para la extrusora, comenzó la construcción final de toda la estructura.

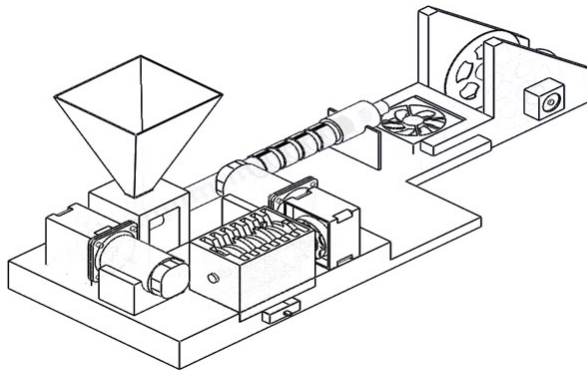


Figura 23: Armado final de la máquina extrusora.

V. CONCLUSIONES

- De acuerdo con la metodología de VDI 2221 y VDI 2225, puede elegir el diseño óptimo de su máquina completando la selección de componentes necesarios para la fabricación de extrusoras, como tornillos, barriles, tolvas, troqueles y placas de troquel.
- Además de reducir el tamaño de la pérdida con una trituradora integrada, fue posible diseñar una máquina con la capacidad de producir filamentos PET de 100 cm x 30 cm x 30 dimensiones. favoreciendo así al laboratorio de la universidad señor de Sipán al reutilizar este termoplástico RPET, pudimos reducir la contaminación.
- La máquina puede extruir filamentos de RPET con un diámetro final de 1,75 mm. Esto se debe a que es el diámetro más común en el sector comercial y en las imprentas de la Universidad del Señor de Sipan.
- Las extrusoras pueden producir polímeros termoplásticos RPET solo en forma de gránulos o piezas impresas, porque el RPET no requiere altas temperaturas para funcionar, no se descompone fuertemente para contaminar el medio ambiente y no emite gases tóxicos.

VI. RECOMENDACIONES

- Teniendo en cuenta que el mecanismo de trituración es aplicable no solo a RPET, se recomienda estudiar el proceso de trituración.
- Si desea aumentar la producción y cambiar las propiedades del filamento, la elección de un sistema de calefacción para el material de la máquina y el tipo de material de trabajo debe tener en cuenta la competencia del mercado y la disponibilidad de los componentes.
- En estudios futuros, recomendamos que se realice una investigación exhaustiva para garantizar que se puedan extruir varios filamentos, no solo RPET.

VII. REFERENCIAS

- [1] Kumar, Sagar & Sooraj, R & Vinod, M Vikram. (2021). *Design And Fabrication Of Extrusion Machine For Recycling Plastics*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 1065. 012014. 10.1088/1757-899X/1065/1/012014.
- [2] Budiyanoro, C., Rochardjo, H. S. B., & Nugroho, G. (2021). Design, Manufacture, and Performance Testing of Extrusion–Pultrusion Machine for Fiber-Reinforced Thermoplastic Pellet Production. *Machines* 2021, Vol. 9, Page 42, 9(2), 42. <https://doi.org/10.3390/MACHINES9020042>
- [3] Beltrán, M., & Marcilla, A. (2012). Tecnología de polímeros. *Universidad de Alicante*. https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=jxilUUn4_QAC&oi=fnd&pg=PA15&dq=Tecnolog%C3%ADa+de+pol%C3%ADmeros.+Universidad+de+Alicante.&ots=eCRAbukrtC&sig=f1FBIBCIjsten9b7wJ_Vtm0huiI#v=onepage&q&f=false
- [4] Ju, S., Yoon, J., Sung, D., & Pyo, S. (2020). Mechanical Properties of Coal Ash Particle-Reinforced Recycled Plastic-Based Composites for Sustainable Railway Sleepers. *Polymers* 2020, Vol. 12, Page 2287, 12(10), 2287. <https://doi.org/10.3390/POLYM12102287>
- [5] Kalpakjian, S. (2001). *Manufacturing engineering and technology*. Pearson Education India.
- [6] Kontárová, S., Příkryl, R., Melčová, V., Menčík, P., Horálek, M., Figalla, S., Plavec, R., Feranc, J., Sadílek, J., & Pospíšilová, A. (2020). Printability, Mechanical and Thermal Properties of Poly(3-Hydroxybutyrate)-Poly(Lactic Acid)-Plasticizer Blends for Three-Dimensional (3D) Printing. *Materials* 2020, Vol. 13, Page 4736, 13(21), 4736. <https://doi.org/10.3390/MA13214736>
- [7] SAVGORODNY V. *Transformación de plásticos*. España: Ed. Gustavo gili, 1978 .476pp. ISBN: 978-84-252-0746-4
- [8] Kumar, Sagar & Sooraj, R & Vinod, M Vikram. (2021). *Design And Fabrication Of Extrusion Machine For Recycling Plastics*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 1065. 012014. 10.1088/1757-899X/1065/1/012014.
- [9] Rúa, E. B., Jiménez, F., Gutiérrez, G. A., & Villamizar, N. I. (2018). Impresión 3D como herramienta didáctica para la enseñanza de algunos conceptos de ingeniería y diseño. *Ingeniería*, 23(1), 70-83.
- [10] Aguirre Rodríguez, C., Gutiérrez Arias, G., Gómez Naizaque, E., Velásquez Paredes, J., & González López, L. (2021). Diseño de la estructura de una Impresora 3d didáctica de gran escala. *Ingenio Magno*, 11(2), 45-61. Recuperado a partir de <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/ingeniomagno/article/view/2179>
- [11] Saúl Andrés Hernández Moreno, Edwin Rúa Ramirez, Ángel Daniel Leiva Bonilla, Gonzalo G. Moreno Contreras, Brayan Ferney Ochoa García, Characterization of a Monocrystalline Photovoltaic Solar Panel with Cooling to Improve its Performance. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology* 10(11), 2019, pp. 297-306. <http://www.iaeme.com/IJMET/issues.asp?JType=IJMET&VType=10&IType=11>