

Ciencia Latina
Internacional

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), noviembre-diciembre 2024,
Volumen 8, Número 6.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i6

DISEÑO DE MÁQUINA EXTRUSORA AVANZADA PARA TRANSFORMAR EL PET

**ADVANCED EXTRUSION MACHINE DESIGN FOR
TRANSFORMING PET**

Sergio Serrano González

Tecnológico Nacional de México Campus Occidente del Estado de Hidalgo

Liliana Yadira Castellanos Lopez

Tecnológico Nacional de México Campus Occidente del Estado de Hidalgo

Benito Armando Maturano Maturano

Tecnológico Nacional de México Campus Occidente del Estado de Hidalgo

Diseño de Máquina Extrusora Avanzada para Transformar el PET

Sergio Serrano González¹

sergio.sg@occtehidalgo.tecnm.mx

<https://orcid.org/0000-0003-0252-1259>

Tecnológico Nacional de México Campus
Occidente del Estado de Hidalgo /ITSOEH,
División de Ingeniería Industrial Mixquiahuala-
Hidalgo
México

Liliana Yadira Castellanos Lopez

liliana.cl@occtehidalgo.tecnm.mx

<https://orcid.org/0009-0000-7531-3851>

Tecnológico Nacional de México Campus
Occidente del Estado de Hidalgo /ITSOEH,
División de Ingeniería Industrial
Mixquiahuala-Hidalgo
México

Benito Armando Maturano Maturano

benito.mm@occtehidalgo.tecnm.mx

<https://orcid.org/0000-0001-6250-6339>

Tecnológico Nacional de México Campus
Occidente del Estado de Hidalgo /ITSOEH,
División de Ingeniería Industrial Mixquiahuala-
Hidalgo
México

RESUMEN

Este proyecto aborda el problema del manejo y reciclaje de residuos plásticos, específicamente polietileno tereftalato (PET), en la microrregión uno del estado de Hidalgo. Su objetivo es diseñar, desarrollar y validar una Máquina Extrusora Avanzada capaz de procesar PET recolectado, contribuyendo a la economía circular y reduciendo la contaminación. Para ello, se utilizó una metodología aplicada, que incluyó el análisis y diagnóstico de la cantidad de residuos de PET, el diseño de la máquina mediante SolidWorks y la implementación de pruebas para validar su rendimiento. Se empleó ingeniería concurrente para agilizar el desarrollo del prototipo, utilizando modelos tridimensionales para optimizar el diseño. Los municipios de Ajacuba y Tlaxcoapan participarán en las pruebas, permitiendo ajustes según las necesidades locales. Se espera reducir significativamente los residuos plásticos en la región, fomentando prácticas sostenibles de gestión de residuos y activar la economía circular. Además, la colaboración con entidades locales y la alineación con programas nacionales de desarrollo sostenible, como PRONACES, asegura el éxito del proyecto a largo plazo, con impactos positivos como la generación de empleo, mejora ambiental y fortalecimiento de la infraestructura de reciclaje en la región.

Palabras clave: reciclaje, economía circular, innovación

¹ Autor principal

Correspondencia: sergio.sg@occtehidalgo.tecnm.mx

Advanced Extrusion Machine Design for Transforming PET

ABSTRACT

This project addresses the problem of plastic waste management and recycling, specifically polyethylene terephthalate (PET), in the micro-region one of the states of Hidalgo. Its objective is to design, develop and validate an Advanced Extruder Machine capable of processing collected PET, contributing to the circular economy and reducing pollution. For this, an applied methodology was used, which included the analysis and diagnosis of the amount of PET waste, the design of the machine using SolidWorks and the implementation of tests to validate its performance. Concurrent engineering was used to speed up the development of the prototype, using three-dimensional models to optimize the design. The municipalities of Ajacuba and Tlaxcoapan will participate in the tests, allowing for adjustments according to local needs. It is expected to significantly reduce plastic waste in the region, promoting sustainable waste management practices and activating the circulating economy. In addition, collaboration with local entities and alignment with national sustainable development programs, such as PRONACES, ensures the long-term success of the project, with positive impacts such as employment generation, environmental improvement and strengthening of the recycling infrastructure in the region.

Keywords: recycling, circulating economy, innovation

Artículo recibido 02 octubre 2024

Aceptado para publicación: 10 noviembre 2024



INTRODUCCIÓN

La presente investigación aborda el diseño de una "Máquina Extrusora Avanzada para Transformar el PET", proyecto orientado a mitigar la problemática derivada del manejo inadecuado de residuos de polietileno tereftalato (PET). Se analiza el impacto de esta tecnología en la Microrregión Uno del Estado de Hidalgo, una zona que genera un promedio de 2,634.3 toneladas mensuales de residuos sólidos urbanos, según datos del INEGI (2021). El problema de investigación se centra en la acumulación masiva de PET en vertederos, su contribución a la contaminación ambiental, y los riesgos asociados a los microplásticos generados durante su degradación, los cuales afectan tanto a los ecosistemas como a la salud humana.

El PET constituye un material utilizado por el bajo costo de producción, pero su duración en el ambiente representa un reto. El diseño de una Máquina Extrusora Avanzada busca proporcionar una solución tecnológica eficiente para la conversión de PET en filamentos para impresoras 3D, promoviendo una economía circular y reduciendo la presión sobre los ecosistemas locales. Además, el proyecto tiene como objetivo fomentar la gestión sostenible de residuos mediante la vinculación con comunidades locales y alineándose con los Programas Nacionales Estratégicos del Conahcyt (PRONACES), para contribuir con las estrategias nacionales de desarrollo sostenible (conahcyt, 2024).

La base teórica del trabajo incluye principios de economía circular (Walker et al., 2020) que promueven la reutilización de materiales y la optimización de recursos. Desde el punto de vista tecnológico, se consideran innovaciones en el diseño de extrusoras, como las propuestas por Johann et al. (2022), quienes analizaron el comportamiento de materiales reciclados en sistemas de extrusión avanzada. El marco teórico se complementa con los postulados de Warintarawej y Nillaor (2023) sobre la gestión comunitaria sostenible de residuos, y de Chu et al. (2023), quienes examinaron la transferencia térmica en materiales utilizados en extrusoras, destacando la importancia de seleccionar componentes que maximicen la eficiencia del proceso.

Estudios previos han identificado avances significativos en la extrusión de plásticos reciclados, como el trabajo de Khare y Khare (2023), que subraya la necesidad de políticas que minimicen la liberación de agentes tóxicos. Por su parte, Meza et al. (2022) abordaron el diseño y construcción de extrusoras



para la recuperación de polímeros, aportando conocimientos clave sobre la transferencia térmica y el control de procesos. Este proyecto amplía dichos estudios al integrarlos con un enfoque comunitario y una perspectiva de sostenibilidad ambiental, optimizando el diseño de la extrusora para maximizar su impacto en el reciclaje del PET.

La investigación se desarrolla en un contexto creciente de la generación de residuos plásticos y la necesidad de soluciones integrales que involucren comunidades locales. En la Microrregión Uno de Hidalgo, municipios como Tlaxcoapan y Ajacuba enfrentan desafíos particulares en la gestión de residuos, lo que resalta la importancia de colaborar con actores locales para garantizar la eficacia del proyecto. Además, la alineación con estrategias nacionales, como las definidas por los PRONACES (Yurén & García, 2022), asegura que los resultados del estudio contribuyan al cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible.

En este contexto, el objetivo principal del estudio es diseñar la Máquina Extrusora Avanzada para Transformar el PET, integrando principios de economía circular, sostenibilidad ambiental y participación comunitaria. La hipótesis plantea que el diseño de esta tecnología reducirá significativamente los residuos de PET en la región, promoviendo prácticas de reciclaje más efectivas y generando beneficios económicos y ambientales a largo plazo.

METODOLOGÍA

La investigación se llevará a cabo en varias fases. Inicialmente, se realizará un análisis exhaustivo de la composición y cantidad de residuos de PET en la microrregión. Posteriormente, se diseñará la Máquina Extrusora Avanzada, implementando tecnologías modernas para maximizar la eficiencia del proceso de reciclaje. Se establecerán colaboraciones con entidades locales y se capacitará a la comunidad en prácticas sostenibles de gestión de residuos. Se empleó una metodología de carácter mixto, siguiendo los lineamientos propuestos por Hernández, Fernández y Batista (2014), que combina enfoques cualitativos y cuantitativos. Esta metodología permite integrar la recolección y análisis de datos cuantitativos, esenciales para dimensionar y modelar los componentes de la extrusora, con un enfoque cualitativo que incluye la revisión de normativas y el análisis conceptual de diseño.



De acuerdo con Hernández, Fernández y Batista (2014), la metodología mixta se caracteriza por aprovechar la complementariedad entre métodos cualitativos y cuantitativos, lo cual es fundamental para proyectos de ingeniería que requieren tanto la precisión del análisis numérico como la profundidad del análisis conceptual y normativo. En este caso, la combinación de recolección de datos estadísticos, simulaciones técnicas en SolidWorks, y la aplicación de normativas específicas, garantiza un enfoque integral y riguroso para el desarrollo del prototipo de la máquina extrusora de PET.

Planificación y Recopilación de Datos

Realizar un estudio detallado sobre la composición y la cantidad de residuos de PET en la microrregión uno, utilizando métodos analíticos para identificar las fuentes principales de generación de desechos. Se realizó investigación de campo para enriquecer la metodología y datos cuantitativos.

Ver tabla 1, presenta los datos recopilados sobre la generación total de residuos sólidos en la Micro Región Uno del estado de Hidalgo, compuesta por los municipios de Ajacuba, Atitalaquia, Tetepango, Tlahuelilpan y Tlaxcoapan. En particular, se detalla el porcentaje de PET recolectado durante el periodo comprendido entre 2021 y agosto de 2024.

La investigación, basada en un enfoque de campo directo, incluyó visitas a las presidencias municipales de cada localidad para recabar información precisa sobre las cantidades de PET generadas en toneladas. Este esfuerzo permitió cumplir con el objetivo principal de la investigación, asegurando la obtención exitosa de los datos requeridos. La información recopilada durante las visitas a las presidencias municipales de los cinco municipios de la Micro Región Uno del estado de Hidalgo se detalla a continuación, basada en las declaraciones de los funcionarios responsables de las áreas de ecología y manejo de residuos sólidos:



Tabla 1. Cantidad de residuos sólidos y porcentaje de PET

MUNICIPIO	AÑOS	CANTIDAD DE RESIDUOS SÓLIDOS(TON)	PORCENTAJE DE RESIDUOS SÓLIDOS	PORCENTAJE DE PET	CANTIDAD TOTAL DE PET
<i>Ajacuba</i>	2024	7500	68.00%	32.00%	2400
	2023	16500	74.00%	26.00%	4290
	2022	13200	66.00%	34.00%	4488
	2021	26000	60.00%	40.00%	10400
<i>Tetepango</i>	2024	11700	62.00%	38.00%	4446
	2023	17000	69.00%	31.00%	5270
	2022	15400	53.00%	47.00%	7238
	2021	23000	79.00%	21.00%	4830
<i>Atitalaquia</i>	2024	10000	62.00%	38.00%	3800
	2023	19200	73.00%	27.00%	5184
	2022	18900	69.00%	31.00%	5859
	2021	22300	67.00%	33.00%	7359
<i>Tlahuelilpan</i>	2024	8000	63.00%	37.00%	2960
	2023	12000	68.00%	32.00%	3840
	2022	12300	76.00%	24.00%	2952
	2021	15600	63.00%	37.00%	5772
<i>Tlaxcoapan</i>	2024	6000	59.00%	41.00%	2460
	2023	15000	71.00%	29.00%	4350
	2022	17800	68.00%	32.00%	5696
	2021	21000	75.00%	25.00%	5250

Pérez (2024) comparte que a lo largo de los años ha disminuido el reciclaje y almacenamiento de PET en el Municipio de Tlaxcoapan, debido a la implementación de estrategias como el fomento del uso de botellas reutilizables en las escuelas y la recolección en contenedores especiales, así pues, estas medidas buscan reducir la contaminación ambiental. Los datos proporcionados sobre el manejo de

PET son recopilados y controlados por el equipo del área de ecología, los cuales registran tanto la cantidad total de residuos sólidos como el porcentaje correspondiente al PET.

Carranza (2024) señala que el **Municipio de Ajacuba**, cuenta con varios balnearios donde se generan residuos de PET provenientes de refrescos y agua embotellada; dichos residuos son recolectados y clasificados por los camiones de basura municipales para determinar la cantidad total de residuos sólidos y el porcentaje de PET generado anualmente; así mismo, la implementación de la venta de bebidas en envases retornables ha contribuido a una disminución en la generación de PET.

Asimismo, Garcia (2024) destaca que la recolección de PET en el municipio **Tetepango** muestra variabilidad anual, dependiendo de la respuesta de los pobladores y las estrategias implementadas. Pese a que se realizan esfuerzos para reducir la generación de PET, no siempre se obtienen los resultados esperados. La separación de residuos en basureros y el acopio en instituciones educativas permiten al departamento de ecología mantener un control detallado de los residuos sólidos y el porcentaje de PET.

En cuanto al **Municipio de Atitalaquia**, Garcia P. (2024) manifiesta que se enfrenta un problema significativo relacionado con la cantidad de residuos sólidos y de PET generados. En 2023, se propuso la construcción de una planta recicladora en un predio destinado al depósito de basura, con el objetivo de reducir la contaminación y optimizar el manejo de residuos. Por lo que, a pesar de los esfuerzos y las estrategias implementadas, tanto la respuesta de los habitantes como el apoyo gubernamental para la construcción de la planta han sido insuficientes para alcanzar las metas planeadas.

Igualmente, Martínez (2024) da a conocer que en el municipio **Tlahuelilpan** se fomenta la recolección de PET en instituciones educativas, donde se promueve el uso de botellas reutilizables; además, existen recolectores independientes de PET, cuyas actividades no están incluidas en los reportes oficiales de residuos sólidos proporcionados por la presidencia municipal, debido a la falta de datos sobre estas cantidades recolectadas.

En definitiva, las entrevistas realizadas reflejan los esfuerzos locales por gestionar de manera eficiente el manejo de PET, a pesar de los desafíos asociados con la generación y recolección de este residuo en la región.



Modelos tridimensionales mediante el software SolidWorks para creación de representaciones virtuales de cada componente y su disposición en el ensamblaje final.

Revisión de literatura técnica, al realizar un estudio exhaustivo de la literatura sobre maquinaria de extrusión y sus componentes clave, se enfocó en el diseño de tornillos, cilindros y sistemas de calefacción (Shigley & Mischke, 2015); asimismo, se estudiaron otros diseños de extrusoras existentes para identificar las mejores prácticas y mejoras potenciales.

Recopilación de Información: Al reunir la información esencial, incluidas las dimensiones, especificaciones y restricciones de diseño, se selecciona la plantilla idónea (pieza, ensamblaje o dibujo), junto con la definición de unidades y escala del modelo: por lo tanto, la creación de componentes se desarrolló mediante herramientas de bosquejo, mediante el diseño de las piezas de manera individual, al apoyarse de herramientas operacionales como lo son las de extrusión, corte, chaflanes, redondeo y agujeros.

Los ensamblajes forman parte de los componentes donde se aplicaron las restricciones geométricas y dimensionales que aseguran su funcionalidad y ajuste adecuado; además de materiales y propiedades, a través de asignar materiales para simular comportamientos físicos como la resistencia y peso. Posteriormente, se verificaron los requisitos, se ajustaron dimensiones y se hicieron las pruebas de los movimientos para garantizar la calidad del diseño, dando como resultado la documentación gráfica mediante la generación de dibujos 2D con vistas isométricas, secciones y detalles técnicos.

El diseño en la construcción de la Máquina Extrusora.

Al desarrollar un modelo tridimensional completo en SolidWorks, donde se especifican las dimensiones, tolerancias y materiales necesarios para la fabricación del prototipo; dicho modelo sirvió como base para todas las fases posteriores de diseño y simulación de rendimiento, al ejecutarse el análisis avanzado, como el flujo de material, transferencia de calor y resistencia estructural, es el parteaguas para evaluar el desempeño teórico de la máquina, los resultados guiaron ajustes precisos en el diseño para optimizar la funcionalidad y la eficiencia operativa.

Validación mediante prototipado virtual, antes de proceder a la fabricación física, se generaron prototipos virtuales que permitieron evaluar ensamblabilidad, funcionalidad y posibles interferencias



entre componentes (Gibson et al., 2015); con la finalidad de minimizar riesgos y reducir tiempos de desarrollo.

El diseño fue estructurado por módulos, lo cual facilitó tanto las pruebas individuales como la integración general; por lo que, este enfoque modular aceleró la iteración y permitió una validación eficiente de los componentes clave antes de la construcción completa.

Los resultados de las simulaciones y pruebas virtuales fueron integrados en ciclos iterativos de mejora del diseño, lo que permitió refinar continuamente los parámetros geométricos y funcionales del prototipo; por lo que, cada etapa del diseño ha sido documentada detalladamente, incluyendo planos, especificaciones de materiales, resultados de simulaciones y ajustes realizados, con la finalidad de asegurar un registro exhaustivo para la fabricación y futuros desarrollos. Al concluir el diseño, se han generado planos finales y archivos exportables (e.g., STL) para la manufactura, garantizando la transición hacia la construcción física del prototipo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el objetivo planteado en el diseño de la máquina extrusora de PET, se implementaron una serie de procedimientos metodológicos estructurados en fases, con un enfoque cualitativo y cuantitativo.

A continuación se describen los principales procedimientos seguidos en cada etapa del proyecto:

Identificación de las cantidades de recolección de PET

Recolección de datos, entrevistas directas solamente, para obtener información precisa sobre las cantidades de PET recolectadas, frecuencia de recolección, y capacidades de almacenamiento. La información recopilada durante las visitas a las presidencias municipales de los cinco municipios de la Micro Región Uno del estado de Hidalgo se detalla a continuación, basada en las declaraciones de los funcionarios responsables de las áreas de ecología y manejo de residuos sólidos:

Tabla 2. Cantidad de residuos de PET por año.

MUNICIPIO	AÑOS	RESIDUOS DE PET (TON)
<i>Ajacuba</i>	2024	5,000
	2023	6,500

	2022	13,200
	2021	26,000
<i>Tetepango</i>	2024	11,700
	2023	17,000
	2022	15,400
	2021	23,000
<i>Atitalaquia</i>	2024	10,000
	2023	19,200
	2022	18,900
	2021	22,300
<i>Tlahuelilpan</i>	2024	8,000
	2023	12,000
	2022	12,300
	2021	15,600
<i>Tlaxcoapan</i>	2024	6,000
	2023	15,000
	2022	17,800
	2021	21,000

Análisis de los componentes para el diseño de la máquina

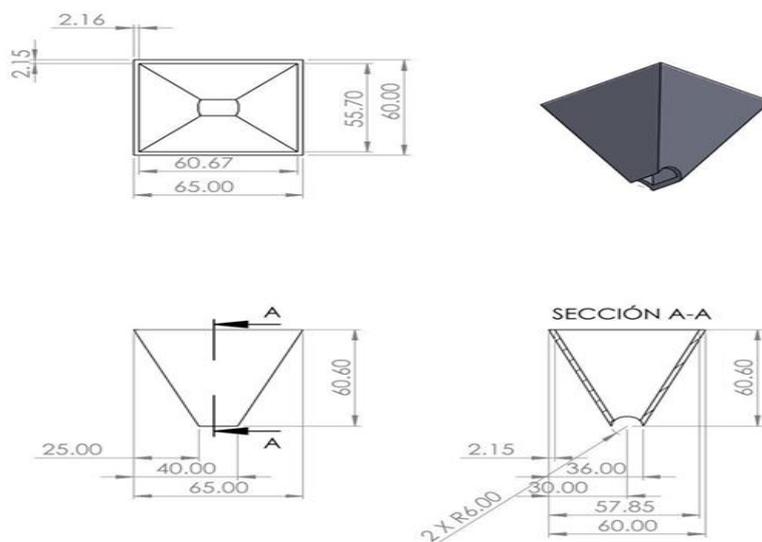
El tamaño y geometría de la tolva véase Figura 1. Diseño de tolva, son variables críticas en el diseño de una máquina extrusora, influyen directamente en la eficiencia del flujo de material y en la calidad del proceso de extrusión. Al tratarse de una máquina diseñada como prototipo, se justifica la selección de una tolva de dimensiones reducidas. Esta decisión responde a la necesidad de optimizar el manejo de materiales en cantidades controladas, típicas de entornos experimentales, donde el propósito no es la producción en masa, sino el desarrollo y análisis de procesos a escala piloto.



Revisión de literatura técnica: Se realizó un estudio exhaustivo de la literatura sobre maquinaria de extrusión y sus componentes clave, enfocándose en el diseño de tornillos, cilindros y sistemas de calefacción (Shigley & Mischke, 2015). Se estudiaron también otros diseños de extrusoras ya existentes para identificar las mejores prácticas y mejoras potenciales.

El diseño de una tolva de sección circular responde a ventajas geométricas en términos de uniformidad del flujo de material. Las tolvas con este perfil reducen los cuellos de botella y minimizan la posibilidad de obstrucciones durante el transporte de partículas o gránulos hacia el husillo de extrusión. Además, la sección circular simplifica la manufactura y permite un mejor acoplamiento con el resto del sistema extrusor.

Figura 1: Diseño de tolva



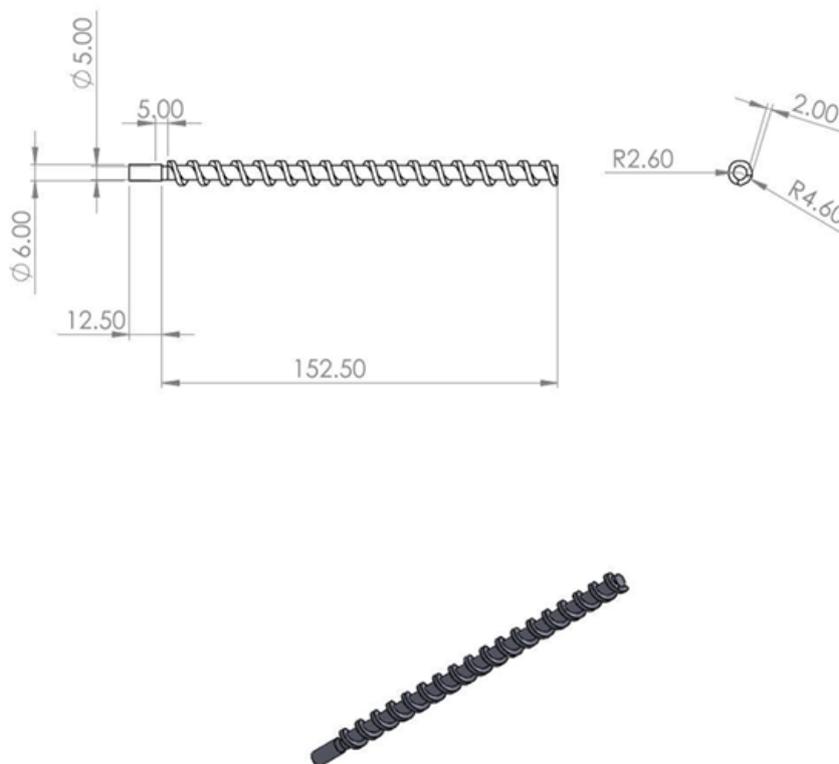
Diseño conceptual, Se esbozaron los primeros diseños conceptuales basados en el análisis previo y las necesidades detectadas durante la recolección de datos. Estos diseños se centraron en la funcionalidad y eficiencia de la máquina para el procesamiento de PET. Simulación en SolidWorks: Los componentes fueron modelados en SolidWorks, donde se realizaron simulaciones por elementos finitos (FEA) y análisis térmicos para asegurar que los materiales y las geometrías seleccionadas fueran apropiados para el procesamiento de PET (Kurowski, 2018).

El diseño del husillo véase figura 2, constituye un elemento fundamental para garantizar la eficiencia del proceso de extrusión, influyendo de manera directa en la calidad del producto final y en el desempeño del equipo. En este estudio, se seleccionó un tubo con un diámetro interno, estableciendo

una holgura entre el tornillo y el cilindro. Esta holgura minimiza la fricción y previene el desgaste prematuro de los componentes, a la vez que asegura un flujo constante y uniforme del material fundido. Con base en estas especificaciones, el tornillo diseñado tiene un diámetro, determinado.

El tornillo de extrusión se caracteriza por tres zonas funcionales: **alimentación, compresión y dosificación**. Cada una desempeña un papel clave en el transporte, transformación y homogenización del material.

Figura 2: Diseño de Husillo.



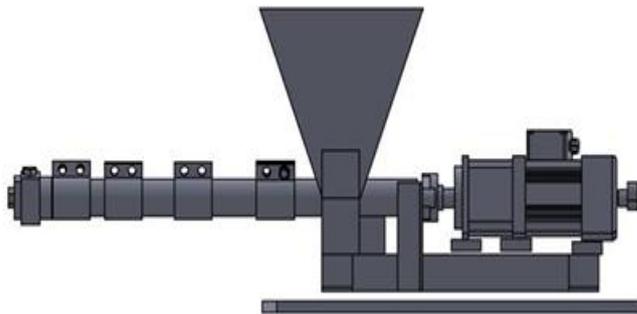
Ensamble del Diseño de la máquina extrusora de PET véase figura 3, para el Desarrollo de planos y dimensiones se utilizó el software SolidWorks, se creó un modelo 3D detallado de la máquina, especificando todas las dimensiones, tolerancias y materiales necesarios para la fabricación del prototipo.

Prototipado virtual: Antes de la fabricación física del prototipo, se generaron modelos virtuales que permitieron validar la ensamblabilidad y funcionalidad de los diferentes componentes de la máquina (Gibson et al., 2015).

La validación técnica del modelo final fue sometido a una evaluación para asegurar que todos los componentes cumplieran con los estándares de seguridad y eficiencia requeridos.

Se realizaron ajustes finales para la optimización del diseño y mejorar la eficiencia energética y reducir costos operativos. Se aplicaron principios de optimización de diseño (Papalambros & Wilde, 2017) para maximizar la productividad de la máquina.

Figura 3: Diseño ensamble de Extrusora



El proyecto integra tecnologías avanzadas de simulación y diseño con una perspectiva comunitaria y sostenible, aspectos que no todos suelen abordar simultáneamente en investigaciones de este tipo. Pese al potencial del proyecto, se enfrentan discusiones relacionadas con los costos de implementación y la capacidad de las entidades locales para acoger estas tecnologías, por lo que lo convierte en un tema controversial en términos económicos y de factibilidad. Por otra parte, con una perspectiva teórica, esta investigación aporta al conocimiento sobre la interacción entre economía circular y extrusión de polímeros, mientras que, en el ámbito práctico, sus aplicaciones incluyen la producción de filamentos para impresión 3D o pellets para otros usos y la reducción de plásticos en el ambiente. La pertinencia dentro de la línea de investigación de sostenibilidad tecnológica radica en dar respuesta a problemas críticos como la acumulación de residuos plásticos e impulsa la creación de soluciones escalables y replicables para otras regiones.

CONCLUSIÓN

El desarrollo de la Máquina Extrusora Avanzada para Transformar el PET alcanzó a llegar avances en sus primeras etapas; al diseño de los componentes principales de la máquina, es un paso importante hacia la realización del dispositivo, permitió la simulación del comportamiento de conjuntos y componentes en un entorno tridimensional (3D), y ha permitido validar el diseño conceptual y predecir posibles ajustes para optimizar su rendimiento. Los resultados preliminares demuestran el

potencial técnico y operativo de la máquina, asegurando su eficiencia. Mediante las simulaciones 3D, permitió obtener información sobre aspectos como la transferencia de calor y la dinámica del material durante el proceso de extrusión, en línea con los principios de sostenibilidad y economía circular propuestos como eje central del proyecto.

Conforme se avanza hacia la construcción y prueba del prototipo, se espera que la máquina no sólo cumpla sus objetivos técnicos, sino que también origine un impacto positivo en la gestión de residuos en la Microrregión Uno del Estado de Hidalgo; así mismo, la integración de comunidades locales y el estar alineado con estrategias nacionales, como son las PRONACES, robustece el compromiso del proyecto con la sostenibilidad ambiental y el desarrollo comunitario. Estos primeros avances confirman la viabilidad de desplegar tecnologías avanzadas para resolver problemas importantes como lo es reciclaje de PET, impulsando un modelo sostenible y escalable que pueda replicarse en otros ámbitos.

Aunque el diseño ha sido técnicamente validado, es necesario considerar fuentes adicionales de financiamiento para llevar a cabo la fabricación física del prototipo y su implementación a escala; el desarrollo de alianzas con el sector privado y organizaciones gubernamentales sería clave para garantizar los recursos financieros necesarios para esta fase. Aunque el diseño actual cumple con los objetivos planteados, el proceso de optimización no debe detenerse, es por ello que tendrá continuidad para el desarrollo del prototipo; a medida que se realicen pruebas con el prototipo físico, es probable que surjan oportunidades para mejorar la eficiencia, reducir costos operativos o adaptar el diseño a nuevas normativas o tecnologías emergentes. Con ello surge la posible expansión a otros tipos de residuos plásticos, ya que si bien el enfoque de este proyecto ha sido la extrusión de PET, es recomendable investigar la posibilidad de adaptar o modificar la máquina para procesar otros tipos de plásticos, como polietileno (PE) o polipropileno (PP), lo que podría incrementar aún más su impacto en la gestión de residuos sólidos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Carranza, L. (2024). Recolección de PET de Ajacuba, Hgo.

Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías. (2024). Programas Nacionales Estratégicos – ConahCyt. Conahcyt.



<https://conahcyt.mx/pronaces/>

Chu, J. W., Wang, X., Ma, Y., & Liu, H. (2023). Numerical simulation of melt pool formation in laser transmission joining PET with microtextured surface pretreated SUS304 stainless steel. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 216, 124560.

<https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2023.124560>

García, A. (2024). Recolección de PET de Tetepango, Hgo.

García, J.E. (2024). Recolección de PET de Atitalaquia, Hgo.

Gibson, Ian; Rosen, David; Stucker, Brent. (2015). Additive manufacturing technologies: 3D printing, rapid prototyping, and direct digital manufacturing, second edition. 10.1007/978-1-4939-2113-3.

Hernández Sapieri, R., Fernandez Collado, C., & Baptista Luicio, M. (2014). *Metodología de investigación*. Mexico: McGrawHill.

INEGI. Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México 2021. Tabulados básicos. (2021). INEGI, «Estadísticas de Residuos Sólidos Urbanos»,. Recuperado 10 de enero de 2024, de

https://inegi.org.mx/contenidos/programas/cngmd/2021/tabulados/cngmd2021_resid_solid.xls
[x](#)

Johann, K. S., Reißing, A., & Bonten, C. (2022). Comparative analysis of the solid conveying of regrind, virgin and powdery polyolefins in single-screw extrusion. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 6(3), 56.

<https://doi.org/10.3390/jmmp6030056>

Khare, R., & Khare, S. (2023). Polymer and its effect on environment. *Journal of the Indian Chemical Society*, 100(1), 100821.

<https://doi.org/10.1016/j.jics.2022.100821>

Martínez, A. (2024). Recolección de PET de Tlahuelilpan, Hgo.

Meza de Luna, A., García Reyes, E., González Herrada, R., Sierra Ortiz, R. B., Chávez Valdivia, F., & Reyes Cortes, R. (2022). Diseño y construcción de extrusora de PET reciclado. *Conciencia Tecnológica*, (63):



<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94472192003>

Pérez, K.L. (2024). Recolección de PET de Tlaxcoapan, Hgo.

Shigley, J. E.; Mischke, C. R.; (2015), Mechanical Engineering Design, McGraw-Hill, Nueva York

Walker, T. , Gramlich, D. y Dumont-Bergeron, A. (2020), "El caso de un impuesto al plástico: una revisión de sus beneficios y desventajas dentro de una economía circular", Wasioleski, DM y Weber, J. (Ed.) *Sostenibilidad (Business and Society 360, Vol. 4)*, Emerald Publishing Limited, Leeds, págs.

<https://doi.org/10.1108/S2514-175920200000004010>

Warintarawej, P. y Nillaor, P. (2023), "Implementación de análisis de datos basado en la técnica de agrupamiento mixto para la gestión participativa sostenible de residuos en un área de bajo presupuesto", *Foresight*, vol. 25 N° 1, págs. 108-125.

<https://doi.org/10.1108/FS-09-2021-0179>

Yurén Camarena, T., & García Pascacio, L. E. (2022). Políticas de ciencia, tecnología e innovación en México: análisis y perspectivas. *CPU-e Revista de Investigación Educativa*, 35.

<https://doi.org/10.25009/cpue.v0i35.2818>

