

# Diseño y construcción de un prototipo de máquina peletizadora de PET para obtención de materia prima en Pasto

Edison Alexander Bacca Chazatar & Christian Giraldo Guacales López

**Resumen - Este proyecto presenta el diseño y desarrollo de una máquina peletizadora destinada al aprovechamiento de residuos de tereftalato de polietileno (PET), con el objetivo de transformar botellas plásticas posconsumo en pellets reutilizables para procesos de manufactura. La investigación aborda el análisis de las propiedades mecánicas del material, la selección del sistema de extrusión y corte, así como el diseño del sistema de arrastre y control térmico. Se evaluaron parámetros operativos como temperatura, velocidad de giro y capacidad de producción, estimando un rendimiento aproximado de 5 kg/h. Además, se realizó un análisis preliminar de costos que incluye consumo energético, mantenimiento y depreciación, determinando la viabilidad técnica y económica del equipo. El proyecto contribuye a la reducción del impacto ambiental generado por residuos plásticos y promueve la economía circular mediante la valorización del PET reciclado.**

**Índice de Términos - Extrusión de polímeros, Materia prima, Peletización, Reciclaje de PET.**

## I. INTRODUCCIÓN

El incremento sostenido en el consumo de plásticos, especialmente de tereftalato de polietileno (PET), ha generado un impacto ambiental significativo debido a la inadecuada disposición de residuos posconsumo. En Colombia, el PET es ampliamente utilizado en la fabricación de envases y botellas, lo que ha incrementado la necesidad de implementar estrategias eficientes de aprovechamiento y reciclaje. En este contexto, la peletización se presenta como una alternativa tecnológica que permite transformar residuos plásticos en materia prima reutilizable, facilitando su reincorporación en procesos productivos bajo un enfoque de economía circular.

El presente proyecto aborda el diseño y desarrollo de una máquina peletizadora de PET orientada a la transformación de botellas recicladas en pellets uniformes, adecuados para

posteriores procesos de extrusión o moldeo. Se analizan aspectos fundamentales como las propiedades mecánicas del material, los parámetros térmicos de procesamiento, el sistema de extrusión y el mecanismo de corte, con el fin de garantizar eficiencia operativa y viabilidad técnica. Asimismo, se considera un análisis preliminar de costos que permite evaluar la factibilidad económica del equipo.

Los resultados obtenidos demostraron una capacidad de producción aproximada de 5 kg/h, con estabilidad en el proceso de extrusión y uniformidad en el tamaño de los pellets bajo condiciones controladas de temperatura donde las temperaturas de trabajo van desde los 200 °C hasta los 240°C y velocidad de giro del husillo de 18 Rpm. El análisis económico evidenció que, incluyendo costos de energía, mantenimiento y depreciación, el sistema resulta viable para su implementación a pequeña escala. En conclusión, la máquina peletizadora desarrollada constituye una solución técnicamente funcional y económicamente factible, que contribuye a la valorización del PET reciclado y al fortalecimiento de procesos sostenibles dentro de la economía circular.

## II. OBJETIVOS

### A. *Objetivo General*

Diseñar y construir un prototipo de máquina peletizadora de plásticos reutilizados tipo PET, para la obtención de materia prima mediante el proceso de extrusión en caliente.

### B. *Objetivos específicos*

Comparar los procesos de peletización existentes con el fin de identificar las diferentes tecnologías para la extrusión de plástico que permitan establecer parámetros de diseño y de control para garantizar la calidad del producto final.

Diseñar el sistema de refrigeración adecuado para el correcto manejo de temperaturas del plástico en todo su proceso de transformación a materia prima.

Fabricar el mecanismo para la peletización de plástico reutilizado, y evaluar los resultados de la máquina.

Elaborar el manual de operaciones y la ruta de mantenimiento preventivo de la máquina.

## III. METODOLOGÍA

### A. *Línea y enfoque de la investigación*

Diseño de máquinas o equipos industriales, este proyecto adoptara un enfoque cuantitativo de investigación por medio del cual se llevará a cabo la recolección de datos e información de diversas fuentes para realizar un análisis de la información que son aspectos fundamentales que contribuyen a desarrollar cálculos necesarios para determinar los parámetros de diseño del prototipo, posteriormente las conclusiones llegaran de la mano con el análisis de los resultados. Se emplea un tipo de investigación experimental ya que este permite establecer relaciones entre distintas variables del proceso de peletización tales como la temperatura, la velocidad de extrusión y la relación longitud/diámetro de husillo. Permitiendo evaluar cómo influyen en la calidad y eficiencia del proceso, buscando

así la optimización y ajuste del diseño del prototipo en función de los resultados obtenidos.

### B. Determinación del universo investigativo.

Este proyecto se desarrolla en San Juan de Pasto debido al problema ambiental existente por el mal manejo de desechos plásticos, con el fin dar un retroceso a esta materia para poder así generar materia prima que se pueda utilizar para fabricar nuevos productos plásticos buscando así cumplir con la labor de crear un mecanismo que permita dar solución a este problema.



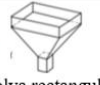


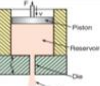









### C. Técnicas de recolección de información

Para el desarrollo del proyecto se realizara la implementación de diversas técnicas de recolección de información como fuentes confiables para analizar mecanismos existentes tecnologías y materiales, además encuestas y entrevistas a las empresas Esplasur y comprender de igual manera a las personas encargadas de la recolección de plástico, con el propósito de obtener una comprensión sobre las necesidades y expectativas del mercado frente a este producto y medir el impacto que podrá generar el desarrollo de este proyecto, posteriormente obteniendo información relevante para el diseño y permitiendo tomar decisiones de manera acertada en cuanto a los requerimientos del prototipo.

## IV. DESARROLLO DEL PROYECTO

Para el desarrollo del prototipo se realiza el cálculo y diseño de todos los sistemas que lo componen además de realizar distintos análisis de cada uno de los sistemas y partes de la maquina con el fin de determinar la ruta más óptima para la fabricación.

Ruta Económica —  
 Ruta optima —  
 Ruta costosa —

COMPONENTE	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	OPCIÓN 3
Tolva de alimentación	 Tolva circular	 Tolva de tornillo grammer	 Tolva rectangular
Husillo para extrusión	 Husillo simple	 Doble husillo	 Pistón
Material del sistema extrusor	Acero AISI 4140	Acero SAE 1040	Acero galvanizado
Calefactores para la camisa	 Resistencias tubulares	 Resistencia tipo banda	
Motor	 Motor AC	 Motor DC	
Sistema de corte	 Cuchillas	 Guillotina	 Cuchilla tipo fresa cilíndrica
Enfriamiento de pellets de PET	 Ventilador	 Agua	

El prototipo cuenta con 4 sistemas principales: extrusión, enfriamiento, arrastre y corte.

**Extrusión:** un mono husillo alimentado por un motor de 1 caballo de potencia arrastra el material a través de un cilindro de 30 milímetros de diámetro interno, el cual esta calentado por 4 resistencias tipo banda que sube la temperatura cerca a 240 °C para fundir el material y se expulsado por una boquilla con un diámetro de 4 milímetros.

**Sistema de arrastre:** un sistema de arrastre que tiene una banda con una velocidad de 87 mm/s guía el filamento de plástico PET a través del sistema de enfriamiento hasta el sistema de corte, la banda da mas soporte al filamento ante vibraciones y evita aplastar o curvar el filamento como lo haría con un sistema de rodillos.

**Sistema de enfriamiento:** este sistema enfría el filamento hasta el punto de transición vítrea del plástico (aprox. 80°C), temperatura en la cual el plástico deja de ser un solido y empieza a tener un comportamiento mas plástico, perfecto para cortar el filamento sin que este se fracture o sea muy blando para formar los pellets.

**Sistema de corte:** cuchillas giratorias alimentadas por un motor de 1/3 de caballo de potencia, las cuales giran a 522 vueltas por minuto, con el fin de cortar el filamento para que este obtenga una longitud de 5 milímetros.

## V. ANÁLISIS Y RESULTADOS

Durante las pruebas iniciales se evaluó el comportamiento del material a diferentes temperaturas de extrusión con el fin de identificar las condiciones más adecuadas para el proceso. Se observó que a una temperatura de **250 °C** el PET tiende a quemarse, adquiriendo una tonalidad oscura y evidenciando degradación térmica del material, al material se vuelve bastante viscoso y quebradizo.

A una temperatura de **180 °C**, el plástico presentó un tono blanco con una superficie rugosa, lo que indica un procesamiento inestable y con pérdida de homogeneidad, además de que sus propiedades mecánicas también se vieron reducidas, al quebrarse y desmoronarse fácilmente. A esta temperatura se llegó a la conclusión de que el material no se fundía homogéneamente.

En el rango de 200 °C a 240 °C se obtuvo un material con una tonalidad clara y una superficie uniforme, sin evidencias de degradación térmica. Estas condiciones permiten establecer que dicho intervalo de temperatura constituye el más adecuado para desarrollar el proceso de peletización, garantizando tanto la estabilidad operativa como una calidad visual óptima en el producto final.

El rango de temperatura tan alto se debe al porcentaje de plástico reciclado y virgen presente en las pruebas realizadas, un plástico con más porcentaje de plástico virgen requiere una menor temperatura para ser fundido.



Se realizaron pruebas mecánicas al PET de compresión y flexión, donde se pretende determinar los máximos esfuerzos a las cuales se pueden someter los distintos lotes de plástico PET, los lotes fueron preparados con diferentes porcentajes de plástico virgen y reciclado (100% reciclado, 75% reciclado – 25% virgen y 50% reciclado), cada lote cuenta con 5 probetas para cada ensayo, con el fin de sacar un promedio de esfuerzos para cada prueba y tener mejores resultados.

*Norma ASTM D695:* esta norma determina los parámetros de ensayo, así como velocidad del cabezal y las dimensiones de la probetas con el fin de someter los plásticos a la máxima compresión posible.

Cilindros: 12,7 mm  $\pm$ 0,1 de diámetro  $\times$  25,4 mm  $\pm$ 0,25 de largo.

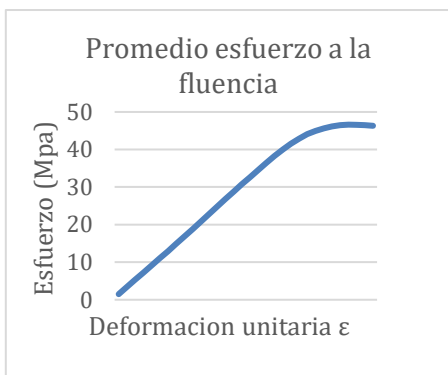
Relación longitud/diámetro  $\approx$  2:1.

Caras deben ser planas y paralelas (error máximo  $\pm$ 0,05 mm).

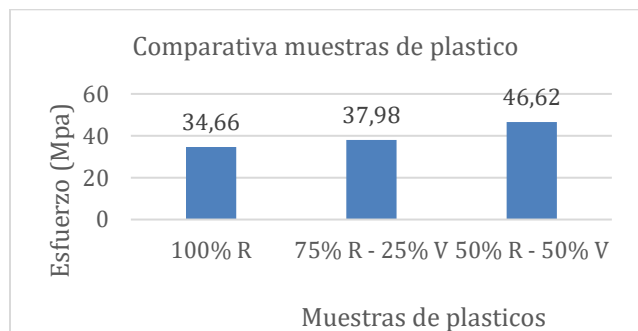
Velocidad de desplazamiento del cabezal de 10 mm/min

Un deformación Max. 15% (3,81 mm)

El lote que mejores resultados arrojó fue el que contiene 50% reciclado – 50% virgen, donde el máximo esfuerzo por compresión fue de 46,62 Mpa donde paso de una deformación elástica a una deformación plástica con una deformación del 11,4%.



En una comparativa entre esfuerzos máximos por compresión entre los distintos lotes se obtienen los siguientes datos.



En la gráfica se muestra que el plástico 50%-50% tiene una mayor resistencia a la compresión. La diferencia con el plástico 100% reciclado es de cerca del 25% de ganancia de propiedades mecánicas en un ensayo a la compresión.

*Norma ASTM D790:* esta norma determina los parámetros de ensayo, así como velocidad del cabezal y las dimensiones de la probetas con el fin de someter los plásticos a la máxima flexión posible, las probetas pueden ser moldeadas por inyección o extrusión, además pueden ser maquinadas.

Dimensiones 127 mm longitud  $\times$  12,7 ancho  $\times$  3,2 mm espesor

Se recomienda medir el ancho y el espesor de cada probeta con un calibrador a una precisión de 0,01 mm.

Distancia entre apoyos = 51,2 mm

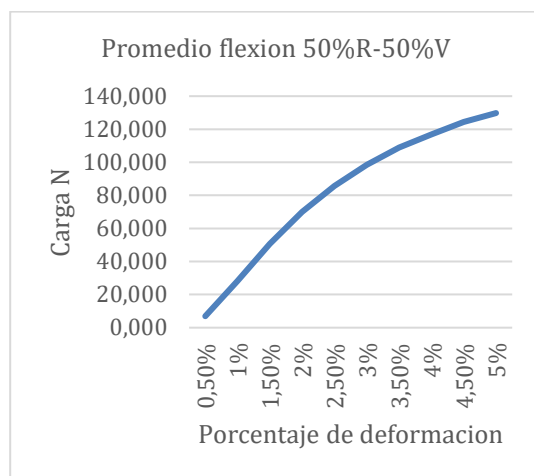
Se inicia el ensayo aplicando carga a la velocidad programada hasta que la probeta se fracture o se alcance una deformación de la fibra externa de 5 % (6.7 mm). Durante el ensayo se debe registrar la curva carga-deflexión.

El lote que mejores resultados arrojó fue el que contiene 50% reciclado – 50% virgen, donde el máximo esfuerzo por flexión fue de 76,33 Mpa donde llego a la deformación del 5% que determina la norma, esto a una fuerza aplicada de 129,77 N.

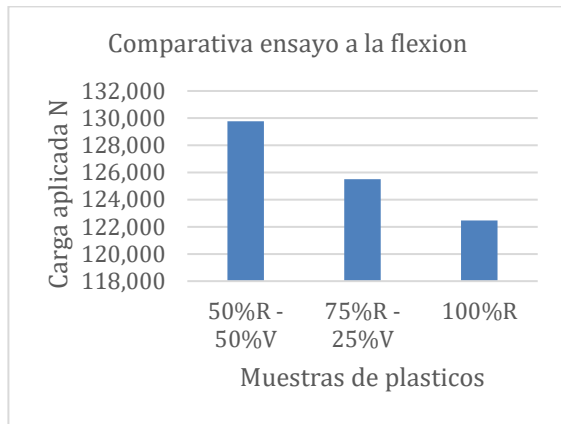
Para llegar al 5% (6,7 mm) de deformación que determina la norma fue necesario aplicar una carga 129,77 Newtons.

$$\sigma_f = \frac{3 * 129,76 \text{ N} * 51 \text{ mm}}{2 * 12,7 \text{ mm} * (3,2 \text{ mm})^2}$$

$$\sigma_f = 76,33 \text{ MPa}$$

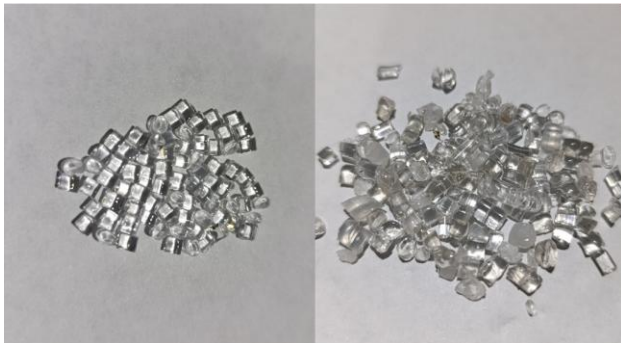


En una comparativa entre esfuerzos máximos por flexión entre los distintos lotes se obtienen los siguientes datos.



La diferencia de fuerzas aplicadas del plástico 100% reciclado y el que tiene 50% de su plástico reciclado es del 5.6%, por ello se determina que no hay una diferencia significativa para este tipo de ensayos.

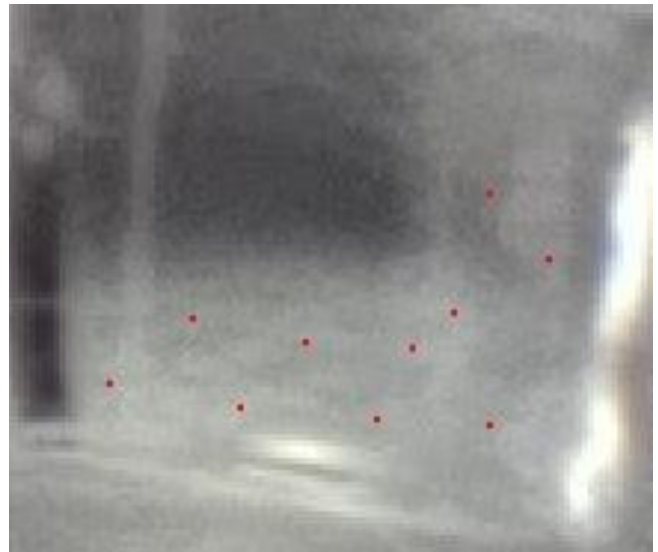
*Comparativa Visual Pellet:* Se realiza un análisis visual del pellet de plástico reciclado y pellet de plástico virgen con el fin de poder analizar qué diferencias tiene y a que se puede deber esto.



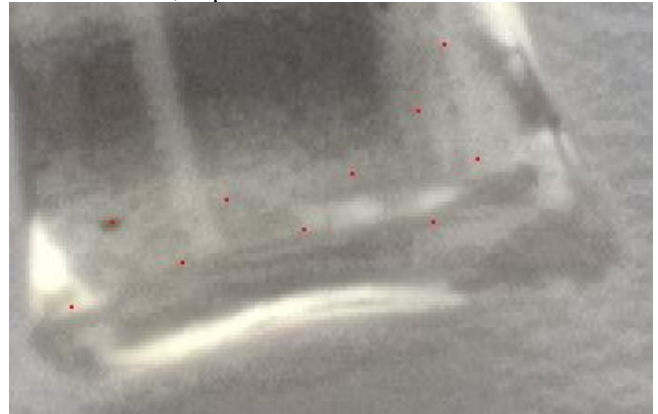
En la parte izquierda se ubican los pellets de plástico virgen, con un color más cristalino y transparente, formas y tamaños más uniformes, en el lado derecho se ubican los pellets extruidos por la máquina que se está realizando en esta tesis, un color más blanco y amarillo, además formas no tan uniformes, con el fin de comparar el color con más facilidad de hace la selección de un pellet al azar de los dos tipos y se selecciona 10 píxeles al azar en la parte donde no haya sombra de cada pellet.



A continuación, el pellet virgen.



A continuación, el pellet reciclado.



Según la muestra aleatoria de 10 píxeles de cada pellet se puede concluir que el pellet virgen tiene una paleta de colores más igualada en su superficie, mientras que el pellet reciclado presenta colores más amarillos y verdosos, esto se puede deber a impurezas en el plástico, también se evidencia dos zonas más oscuras, a grandes rasgos se puede decir que el pellet reciclado presenta 20% más impurezas y zonas quemadas que el plástico virgen.

PIXEL	RECICLADO	RGB	VIRGEN	RGB
1	223, 217, 195		167, 169, 164	
2	122, 118, 107		147, 149, 144	
3	150, 146, 135		169, 172, 165	
4	151, 147, 136		156, 158, 153	
5	168, 164, 155		163, 165, 160	
6	156, 163, 144		145, 147, 144	
7	156, 163, 144		164, 166, 163	
8	182, 179, 172		167, 169, 168	
9	145, 142, 135		146, 146, 146	
10	176, 173, 168		125, 124, 122	

*Consumo energético del prototipo:* Para determinar la potencia que consume el prototipo se tiene en cuenta el voltaje y la intensidad. La máquina funciona a 110 V y consume 11.8 A.

$$P = 110V * 11,8 A$$

$$P = 1.298Kw$$

Costo de energía en casa estrato 1 en Pasto 922 COP.

$$costo = 1.298 \frac{Kw}{h} * 922 COP/Kw = 1196 COP/h$$

En una hora se pueden extruir 5 kilogramos, para 1 kilogramo el costo sería de 240 pesos

Costo por kilogramo de materia prima - \$700 pesos

Costo por kilo de peletización – \$240 pesos

En un año se puede llegar a extruir 10650 kilogramos

Costo total de la máquina - \$5'900.000

Mantenimiento anual 5% del costo total de la máquina- \$295.000

Por cada kilogramo:

$$\frac{295.000 COP}{10.560 kg} = 28 COP/kg$$

Para un costo por kilo de:

$$28COP + 700COP + 240 COP = 968 COP$$

Ganancia por kilo de:

$$4000 COP - 968 COP = 3032 COP$$

Con el fin de terminar en cuanto tiempo se puede recuperar la inversión de la maquina peletizadora se tiene en cuenta la producción mensual y la ganancia por kilo.

$$880 kg x 3032 COP = 2'668.160 COP/mes$$

$$\frac{5'900.000 COP}{2'668.160 COP/mes} = 2.2 meses$$

#### Manual de operaciones y ruta de mantenimiento

**Manual de operación.** El manual de operación del prototipo de máquina peletizadora de PET se elabora con el propósito de brindar información clara, precisa y accesible que permita al usuario realizar un manejo adecuado y seguro del equipo. Este establece los lineamientos necesarios para la correcta puesta en marcha, operación y detención de la máquina, así como las recomendaciones de seguridad y buenas prácticas de uso. De esta manera, el manual contribuye a garantizar un buen desarrollo del proceso, la integridad del operario y la preservación del prototipo como herramienta funcional. En el anexo 2 se puede encontrar el manual de operación para su debido uso.

**Ruta de mantenimiento.** El mantenimiento del prototipo de máquina peletizadora de PET se plantea con el propósito de definir las actividades preventivas y correctivas necesarias para garantizar su adecuado funcionamiento. Todo con el fin de evitar que la calidad del producto sea mala o que la máquina sufra daños que puedan poner en riesgo la misma seguridad de los operarios.

En este sentido, se establecen las acciones que deben ejecutarse después de cada operación, junto con una descripción detallada de los procedimientos aplicables a las diferentes piezas y componentes que conforman la máquina

## VI. CONCLUSIONES

Se diseñó y construyó un prototipo funcional de máquina peletizadora de PET mediante extrusión en caliente, validando su desempeño operativo y demostrando la viabilidad técnica del

sistema a través de la obtención de pellets con características adecuadas para su reutilización como materia prima.

La revisión de tecnologías actuales de peletización permitió fundamentar el diseño y la construcción del prototipo, logrando desarrollar una alternativa funcional y viable para el aprovechamiento y transformación de PET reciclado.

Se implementó un sistema integrado de transporte y enfriamiento que optimiza el uso del espacio y mejora el rendimiento general del proceso, permitiendo una operación más compacta y eficiente en comparación con sistemas convencionales.

El prototipo presenta dimensiones compactas que facilitan su instalación en espacios reducidos, diferenciándose de las máquinas industriales de gran tamaño comúnmente utilizadas en procesos de peletización.

Se desarrolló un sistema de arrastre basado en banda transportadora, sustituyendo el enfriamiento tradicional por inmersión en agua y proponiendo una alternativa más práctica que reduce posibles deformaciones del material.

El diseño del sistema de corte demostró un funcionamiento adecuado para el filamento en condiciones normales de operación y ofrece, de manera complementaria, la posibilidad de trabajar con otros plásticos más blandos a temperatura ambiente.

El análisis de costos evidenció que la materia prima y el consumo energético representan aproximadamente el 25 % del valor final del pellet producido, lo que confirma la viabilidad económica del sistema a pequeña escala.

Finalmente, se elaboró un manual de operación y una ruta de mantenimiento preventivo que permiten comprender el funcionamiento del equipo y garantizar su desempeño adecuado a lo largo del tiempo.

## VII. RECOMENDACIONES

Al iniciar el proceso de peletización, se debe realizar una purga del material extruido durante al menos un minuto.

Se debe realizar un precalentamiento de la máquina durante un tiempo aproximado de 40 minutos.

Se aconseja realizar una limpieza previa de las botellas para evitar impurezas en el pellet.

Se recomienda operar a un voltaje de 220 para una mayor eficiencia energética y reducir el tiempo de precalentamiento.

Se recomienda un sistema de secado del material, esta medida permite eliminar la humedad residual en el pellet.

## REFERENCIAS

- [1]. AcmePlastics. (2018). *Your Guide to Plastic Recycling Symbols*. <https://www.acmeplastics.com/content/your-guide-to-plastic-recycling-symbols/>
- [2]. Alva, N. (2021). *Reutilización de bolsas plásticas para la elaboración de ladrillos de concreto, Chiclayo 2019*. [Tesis de pregrado, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo]. <https://repositorio.usat.edu.pe/server/api/core/bitstreams/80cce2de-18f7-4acf-a70b-9abe24185bcf/content>
- [3]. ASME. (1880). Ejemplos de uso de códigos y normas para los estudiantes de ingeniería mecánica y otros campos. *The American Society of Mechanical Engineers*. [https://www.asme.org/wwwasmeorg/media/resourcefiles/aboutasme/who%20we%20are/standards\\_and\\_certification/scstudentbr aug 15r3-\(002\).pdf](https://www.asme.org/wwwasmeorg/media/resourcefiles/aboutasme/who%20we%20are/standards_and_certification/scstudentbr aug 15r3-(002).pdf)

- [4]. ASTM (2023). Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics. *American Society for Testing and Materials*. <https://store.astm.org/d0695-23.html>
- [5]. ASTM (2017). Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials. *American Society for Testing and Materials*. <https://store.astm.org/d0790-17.html>
- [6]. Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2015). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (10.ª ed.). México: McGraw-Hill Education.
- [7]. Campos, D. y Caraguay, E. (2021). *Diseño y Construcción de un Prototipo de Máquina Extrusora para Fundir Plástico PET Reciclable con Capacidad de 5kg/H*. [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20768>
- [8]. Caviedes, J. (2020). *Diseño de una Máquina Trituradora para Plástico PET*. [Tesis de pregrado, Fundación Universidad de América]. <https://hdl.handle.net/20.500.11839/7904>
- [9]. Cengel, Y. y Ghajar, A. (2011). *Transferencia de calor y masa* (Cuarta edición).
- [10]. Coral, N. y Izquierdo, D. (2021) *Extrusora de filamentos a partir de residuos plásticos de impresiones 3D para el grupo de investigación Gideter-Espoch*. [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/16149>
- [11]. Cruz, W. y Betancourt, J. (2022). *Diseño y construcción de una máquina extrusora de filamentos a partir de residuos plásticos de impresiones 3D para el grupo de investigación Gideter-Espoch*. [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/16149>
- [12]. Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE. (2019). *Censo Nacional de Población y Vivienda 2018: Presentación territorio Nariño – Pasto* [Informe técnico]. <https://www.dane.gov.co/files/censo2018/informacion-tecnica/presentaciones-territorio/190726-CNPV-presentacion-Narino-Pasto.pdf>
- [13]. Decreto 1505 de 2003 (2003). Presidente de la Republica. Diario oficial No 45.210. [https://oab.ambientebogota.gov.co/?post\\_type=dlm\\_download&p=3814](https://oab.ambientebogota.gov.co/?post_type=dlm_download&p=3814)
- [14]. Diario occidente (2019). *En Colombia se recicla sólo el 7% del plástico*. <https://occidente.co/colombia/en-colombia-se-recicla-solo-el-7-del-plastico/>
- [15]. Diccionario de la lengua española [DLE]. (2024). *Materia prima*. <https://dle.rae.es/materia?m=form#2YOxZFW>
- [16]. Diccionario de la lengua española [DLE]. (2024). *Maquina*. <https://dle.rae.es/m%C3%A1quina?m=form>
- [17]. Diccionario de la lengua española [DLE]. (2024). *Prototipo*. <https://dle.rae.es/prototipo?m=form>
- [18]. Editorial Etecé (2023). *Historia del plástico*. <https://concepto.de/historia-del-plastico/>
- [19]. El Tiempo. (2023, 5 de junio). *En Colombia, el consumo de plástico alcanza la cifra de 1.250.000 toneladas anuales*. <https://www.eltiempo.com/vida/medio-ambiente/en-colombia-el-consumo-de-plastico-alcanza-la-cifra-de-1-250-000-toneladas-anuales-775090>
- [20]. Emas Pasto-Putumayo (2022). Informe de gestión enero - diciembre 2022. [https://www.emaspasto-putumayo.com.co/sites/default/files/public/Emas%20Pasto%20Informe%20Gesti%C3%B3n%202022\\_compressed.pdf](https://www.emaspasto-putumayo.com.co/sites/default/files/public/Emas%20Pasto%20Informe%20Gesti%C3%B3n%202022_compressed.pdf)
- [21]. García, D. (2022). *Análisis del proceso de obtención de filamento plástico para impresión 3d utilizando una máquina extrusora de bajo coste*. [Tesis de pregrado, Universidad de Valladolid]. <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/54423/TFG-I-2325.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [22]. Gil, A., Espinosa, E., Gonzáles, A., Chiari, M., del Rosario, N., y Batista, V. (2020). Los envases de plástico y su impacto. *Semilla científica: revista de información formativa*, 1, 273. <https://repositorio.umecit.edu.pa/handle/001/4729>
- [23]. Gómez, J. y Gutiérrez, J. (2007). *Diseño de una extrusora para plástico*. [Trabajo de grado de tecnólogo, Universidad tecnológica de Pereira]. <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/145b2ecf-d956-4b4e-b2f5-5406d77c76fe/content>
- [24]. Herrarte, I. y Marmolejo, J. (2024). *Prototipo de una Máquina Extrusora de Filamento para Impresión 3D a Partir del Reciclado de Botellas PET*. [Tesis de pregrado, Universidad Autónoma de Occidente]. <https://red.uao.edu.co/server/api/core/bitstreams/78d0597f-b4f9-4dc6-83bf-7ad119bc8c6a/content>
- [25]. Jenoy, W. y Belalcázar, O. (2021). *Diseño de un prototipo de máquina para la producción de madera plástica a base de PET reciclado, para la empresa INGECER.SAS en San Juan de Pasto-Nariño* [Tesis de pregrado, Corporación Universitaria autónoma de Nariño]. <http://repositorio.aunar.edu.co:8080/xmlui/handle/20.500.12276/1152>
- [26]. Ley 2232 de 2022. (2022) Congreso de la Republica. Diario oficial No 52.089. [http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley\\_2232\\_2022.html](http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_2232_2022.html)
- [27]. Mendoza, R. y Brown, L. (2022). *Diseño de un Halador para Filamento de Plástico* [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica del Litoral]. <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/56563/1/T-112892%20Mendoza%20Jim%C3%A9nez%2c%20%20Robert%20Carlos%20%26%20%20Brown%20Olivera%2c%20%20Luis%20Eduardo.pdf>
- [28]. Norma NTC-ISO 15270 DE 2008 (2008). Comité ISO/TC.
- [29]. <https://tienda.icontec.org/gp-ntc-iso-plasticos-directrices-para-recuperar-y-reciclar-residuos-plasticos-ntc-iso15270-2008.html>
- [30]. Norma ISO 14001 de 2015 (2015) The International Organization for Standardization. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14001:ed-3:v1:en>
- [31]. Norton, R. L. (2014). *Diseño de máquinas: Un enfoque integrado* (5.ª ed.). México: McGraw-Hill Education.
- [32]. Ordoñez, Y. y Ordoñez, J. (2020). *Diseñar y construir un prototipo de máquina extrusora de ladrillos a base de plásticos tipo PET en el municipio de Belén Nariño* [Tesis de pregrado, Corporación Universitaria autónoma de Nariño]. <http://repositorio.aunar.edu.co:8080/xmlui/handle/20.500.12276/1406>
- [33]. Revista semilla científica (2020). Los envases de plástico y su impacto. <https://repositorio.umecit.edu.pa/bitstream/handle/001/4729/Revista-Semilla-Cient%C3%ADfica-269-280%20-%20copia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [34]. Savgorodny, K. (1973) *Transformación de plásticos*. Editorial Gustavo Gili.
- [35]. SKF. (s. f.). *Catálogo de rodamientos SKF* [PDF]. Recuperado de [https://cdn.skfmediahub.skf.com/api/public/0901d19680416953/pdf\\_preview\\_medium/0901d19680416953\\_pdf\\_preview\\_medium.pdf](https://cdn.skfmediahub.skf.com/api/public/0901d19680416953/pdf_preview_medium/0901d19680416953_pdf_preview_medium.pdf)
- [36]. Toapanta, D. y Villacís, K. (2022). *Diseño de una máquina fibrodora para plásticos de polietileno de baja densidad. Universidad Técnica de Cotopaxi*, 10. <https://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/9273/1/PI-002183.pdf>
- [37]. Valencia, J. (2020). *Estudio de factibilidad para la creación de una empresa fabricadora de muebles modulares a partir de plástico reciclado en la ciudad de Pereira* [Trabajo de pregrado, Universidad Tecnológica de Pereira]. <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/5c57fc14-db2b-4833-9cc1-7ab16ccea385/content>
- [38]. Vega, G. (2023). *Diseño de una máquina orientada a la producción de pellets de PET reciclado*. [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica Del Perú]. Archivo digital. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/26521>