

Elaboración de barras cilíndricas tomando como base desechos plásticos (PET), para el desarrollo de actividades didácticas

RESUMEN: El tereftalato de polietileno (PET), un plástico conocido por su durabilidad y resistencia, está encontrando nuevas y sostenibles aplicaciones en la industria gracias a su reciclaje. En lugar de recurrir a materiales costosos como el aluminio o el acero, las barras cilíndricas fabricadas con PET reciclado están emergiendo como una solución económica y ecológica. Este enfoque no solo ofrece una alternativa accesible para instituciones educativas como el CETis 111 Vicente Guerrero, donde los estudiantes de mecánica industrial pueden beneficiarse de estas piezas recicladas, sino que también contribuye a la sostenibilidad ambiental. El proceso de fabricación de estas barras comienza con la recolección y trituración de botellas PET usadas, que se convierten en pequeños fragmentos llamados "flakes". Estos flakes se funden y se transforman en barras cilíndricas mediante extrusión, un método que asegura productos uniformes y de calidad. Una vez enfriadas y procesadas, las barras de PET reciclado están listas para su uso industrial. Además de reducir costos, el PET reciclado juega un papel crucial en la reducción de residuos plásticos, ayudando a mitigar el impacto ambiental de la producción de plásticos vírgenes. Sin embargo, en México, la contaminación por PET sigue siendo un problema significativo, con residuos plásticos que afectan tanto la estética como la salud pública en comunidades cercanas a escuelas y áreas residenciales. El reciclaje de PET puede ser una solución parcial a esta problemática, pero es necesario adoptar un enfoque integral que incluya educación sobre reciclaje, mejora de la infraestructura de gestión de residuos y políticas más estrictas para enfrentar de manera efectiva la contaminación por PET.

En resumen, la utilización de PET reciclado para fabricar barras cilíndricas no solo es una práctica beneficiosa para la industria y el medio ambiente, sino que también destaca la necesidad de estrategias más amplias para gestionar la contaminación por plásticos en nuestras comunidades.

PALABRAS CLAVE: Sustentabilidad, Sostenibilidad, Reciclaje, Capacitación, Reaprovechamiento.



Colaboración

Axel Ab Shalom Fernández Cordero; Daniel Enrique Hernández Cortés, Alejandro Cecilio Jiménez Tejeda, Tecnológico Nacional de México / ITS de Teziutlán; Nayeli Montalvo Romero, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Misantla; Aarón Montiel Rosales, Tecnológico Nacional de México / ITS de Teziutlán

Fecha de recepción: 16 de septiembre de 2024

Fecha de aceptación: 10 de octubre de 2024

ABSTRACT: Polyethylene Terephthalate (PET), a plastic known for its durability and resistance, is finding new sustainable industrial applications through recycling. Instead of relying on costly materials like aluminum or steel, cylindrical bars made from recycled PET are emerging as an economical and eco-friendly solution. This approach not only provides an accessible option for educational institutions like CETis 111 Vicente Guerrero, where industrial mechanics students can benefit from these recycled parts but also contributes to environmental sustainability. The manufacturing process begins with collecting and shredding used PET bottles, which are turned into small fragments known as "flakes". These flakes are then melted and extruded into cylindrical bars, ensuring uniform and high-quality products. Once cooled and processed, the recycled PET bars are ready for industrial use. In addition to reducing costs, recycled PET plays a crucial role in reducing plastic waste, helping mitigate the environmental impact of producing virgin plastics. However, PET pollution remains a significant issue in Mexico, with plastic waste affecting aesthetics and public health in communities near schools and residential areas. Recycling PET can be a partial solution to this problem, but a comprehensive approach is needed, including recycling education, improved waste management infrastructure, and stricter policies to effectively tackle PET pollution.

In summary, using recycled PET to manufacture cylindrical bars is not only a beneficial practice for industry and the environment but also highlights the need for broader strategies to manage plastic pollution in our communities.

KEYWORDS: Sustainability, Recycling, Training, Reuse.

INTRODUCCIÓN

El tereftalato de polietileno (PET) es un plástico de gran versatilidad y resistencia, ampliamente utilizado en diversas industrias para la fabricación de envases, textiles y componentes industriales [1]. Este material, conocido por su durabilidad y propiedades físicas, ha ganado popularidad en aplicaciones que van desde botellas de bebidas hasta ropa deportiva y componentes automotrices. Sin embargo, su uso generalizado ha desencadenado un grave desafío en la gestión de residuos, dado que el PET es uno de los plásticos más difíciles de degradar en el medio ambiente [2].

En México, la crisis de residuos plásticos es especialmente aguda. Según datos de la Encuesta Nacional de Uso de Tiempo y Actividades (ENDUTIH), el país produce alrededor de 4.3 millones de toneladas de residuos plásticos cada año. A pesar de los esfuerzos por mejorar las tasas de reciclaje, solo el 7% de estos residuos se reciclan efectivamente, dejando una gran cantidad de plástico en vertederos y en el medio ambiente [3]. Esta situación se ve agravada por la falta de infraestructura adecuada para el reciclaje y la falta de conciencia pública sobre la importancia de la separación y el reciclaje de residuos [4].

La acumulación de PET en zonas residenciales y escolares ha generado preocupaciones adicionales. La presencia de botellas y envases de PET en espacios públicos como calles, parques y áreas cercanas a escuelas no solo afecta la estética urbana, sino que también presenta riesgos significativos para la salud. Un estudio de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) revela que cerca del 30% de los residuos plásticos en estas áreas están compuestos por PET, lo que contribuye a una creciente preocupación por la contaminación y la seguridad sanitaria [5]. El PET, al descomponerse, puede liberar microplásticos que afectan la calidad del suelo y del agua, y potencialmente pueden ser ingeridos por los seres humanos, especialmente por los niños que son más susceptibles a estos contaminantes [6].

El reciclaje del PET se presenta como una solución crítica para mitigar estos problemas. Reciclar botellas usadas y otros productos de PET no solo ayuda a reducir la acumulación de residuos plásticos, sino que también ofrece una vía para promover una economía circular más sostenible. Al convertir los residuos de PET en nuevos productos, se minimiza la necesidad de producir plástico virgen, lo que a su vez reduce el consumo de recursos naturales y las emisiones de gases de efecto invernadero [7]. Además, el reciclaje del PET puede contribuir a la creación de empleos, y al desarrollo de nuevas tecnologías [8].

Este artículo se centrará en cómo el reciclaje de PET puede ser una herramienta clave para mejorar el entorno en las comunidades escolares y los beneficios am-

biales asociados con esta práctica. Exploraremos las técnicas actuales de reciclaje de PET, los retos que enfrenta el sector y las oportunidades para fomentar una mayor participación de la comunidad en la gestión de residuos. Con una mayor comprensión y compromiso con el reciclaje del PET, es posible avanzar hacia un futuro más limpio y sostenible.

MATERIAL Y MÉTODOS

Debido al contexto de la problemática, el enfoque empleado se desglosa en Fases. La Figura 1, presenta dichas fases; así como el diseño del proceso para la fabricación de las barras cilíndricas a partir del desecho de PET.

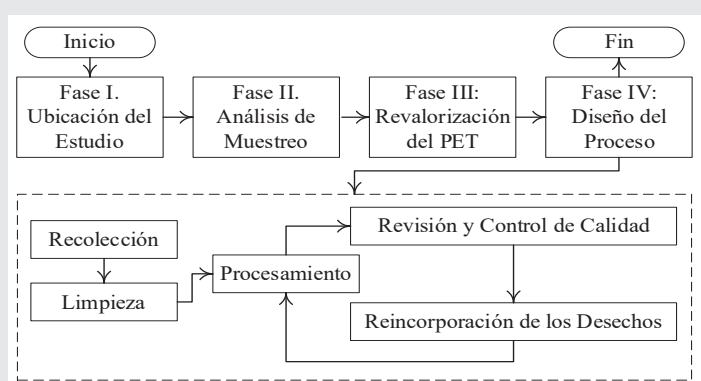


Figura 1. Metodología.

Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS

Los resultados obtenidos de la implementación de la metodología se detallan en esta sección.

Fase I: Ubicación del Estudio

La investigación se lleva a cabo en Tuxpan, Veracruz-México; enfocándose en el CETis 111 Vicente Guerrero y las zonas residenciales y públicas a su alrededor. Esto abarca las colonias La Calzada y La Mata, La Barra, así como otras áreas públicas cercanas. La finalidad es convertir el PET reciclado obtenido en estas zonas en barras cilíndricas, contribuyendo así a la reducción de residuos plásticos y promoviendo prácticas de economía circular en la región.

Fase II: Análisis de Muestreo

En relación con la contaminación por desechos sólidos en la comunidad de Tuxpan, se realizó un estudio sobre las botellas de PET en el CETis 111 Vicente Guerrero; a 30 estudiantes se les pidió contar visualmente las botellas de PET que encontrarán en su camino de casa a la escuela y de regreso. El análisis de estos datos reveló lo siguiente:

- El número promedio de botellas observadas por los estudiantes fue 250.17 botellas, con una desviación estándar de 10.46 botellas, lo que indica una dispersión moderada en los datos.
- El rango observado varió entre un mínimo de 230 botellas y un máximo de 270 botellas.

- La mediana, o valor central, fue de 250, lo que sugiere que la mitad de los estudiantes observó 250 botellas o menos.
- Los cuartiles mostraron que el 25.00% de los estudiantes observó hasta 240 botellas y el 75.00% observó hasta 260 botellas.

La Figura 2, presenta los estadísticos descriptivos de los datos analizados por la visualización del comportamiento de las botellas. El análisis y tratamiento de los datos se realizó en Minitab 19 en su versión de prueba, como software estadístico. Mientras, que en análisis de la prueba t-student para una muestra, se presenta en la Tabla 1 y en la Tabla 2.

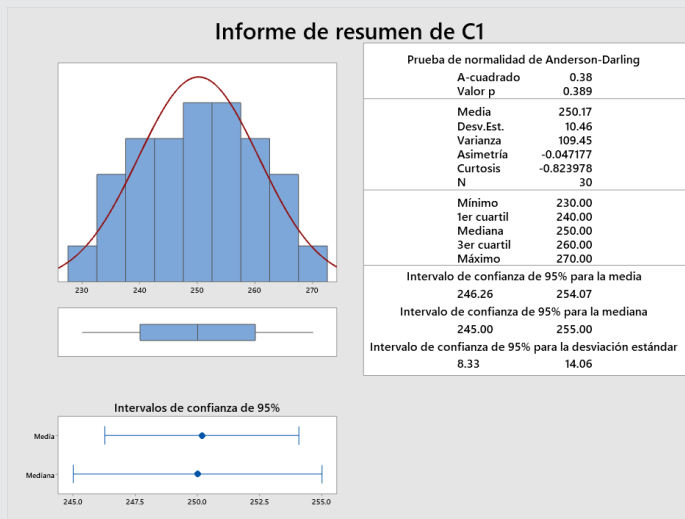


Figura 2. Comportamiento del PET generado. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1. Análisis estadístico.

N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	IC de 95% para μ
30	250.17	10.46	1.91	(246.26, 254.07)

μ : media de C1

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Prueba de hipótesis.

Hipótesis nula	$H_0: \mu = 250$
Hipótesis alterna	$H_1: \mu \neq 250$
Valor T	Valor p
0.09	0.931

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 3, presenta el histograma de los datos analizados. La Figura 4, muestra el comportamiento de los valores individuales.

Además, con el objetivo de identificar de la forma más precisa del impacto de las botellas en el plantel, se les solicitó a los estudiantes recolectarlas físicamente en un solo día. Los estudiantes, lograron juntar 200 botellas en esa jornada.

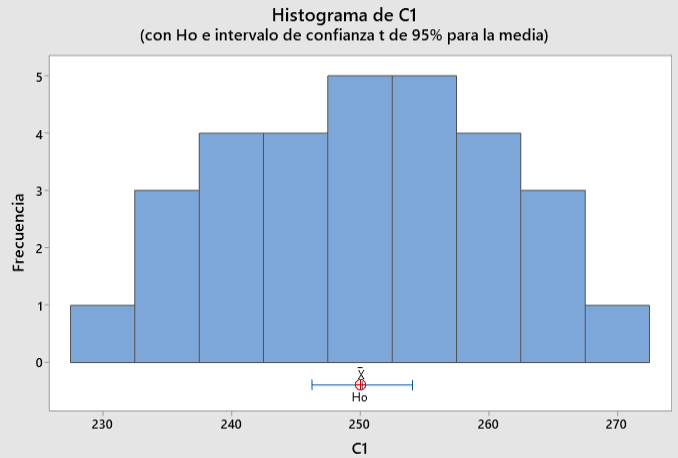


Figura 3. Histograma de los datos. Fuente: Elaboración propia.

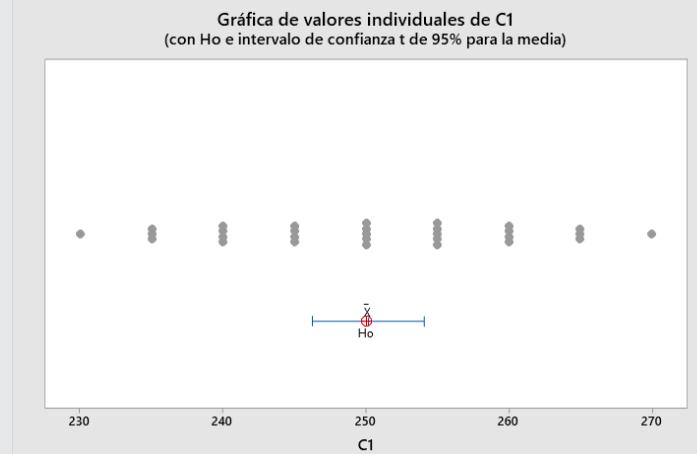


Figura 4. Comportamiento de los valores individuales. Fuente: Elaboración propia.

Si esa cantidad se recolectó en un solo día, se estima que en un mes podrían acumularse aproximadamente 5,000 botellas; lo cual resulta alarmante. Aumentar el área de muestreo incrementaría esta cifra de forma exponencial, lo que indica un problema potencialmente mayor si estas botellas llegan a lugares como cuerpos de agua, afectando gravemente el ecosistema circundante (ver Figura 5).

Fase III. Revalorización del PET

Las botellas de PET se recolectan en las calles, parques, colonias vecinas y áreas públicas próximas al CETis 111. Así mismo, se obtiene PET reciclado de centros locales de reciclaje y plantas de procesamiento en Tuxpan; este PET ha pasado por un procesamiento previo, lo que puede influir en sus características. El PET recolectado, es la materia prima para del proceso de producción [9].

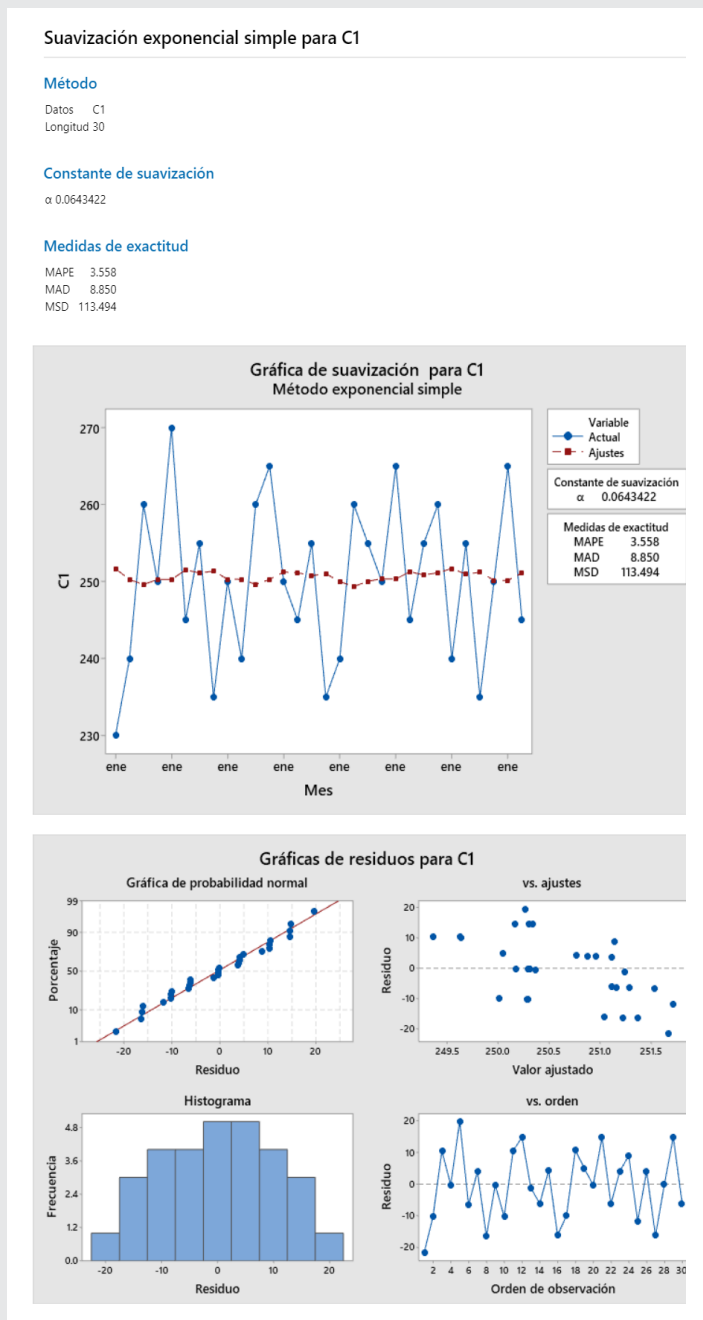


Figura 5. Comportamiento de la generación de PET.
 Fuente: Elaboración propia.

Fase IV. Diseño del Proceso

Partiendo de las necesidades identificadas, el diseño conceptual del proceso que permita recuperar el PET generado y ser empleado en prácticas académicas, y así capacitar a los estudiantes, se considera:

a) Recolección

Mediante contenedores se recolectan desechos en forma de PET. Se realiza la recolección de envases y botellas de PET en calles, parques, áreas públicas y en las colonias adyacentes al CETis 111. Posteriormente, los envases se clasifican según su color y tipo, eliminando etiquetas y tapas para asegurar la pureza del material.

Finalmente, mediante bolsas se transporte el PET recolectado a las instalaciones de procesamiento. Para este proceso se emplean herramientas básicas para la recolección y clasificación inicial del PET, tales como contenedores y bolsas de polipropileno de alta densidad.

b) Limpieza

Los envases recolectados, se lavan con agua y detergente para eliminar contaminantes, y luego se secan completamente. En este proceso se emplean contenedores, detergentes y utensilios de limpieza.

c) Procesamiento

Una trituradora, se utiliza para descomponer el PET en fragmentos pequeños, conocidos como flakes, facilitando su manejo y procesamiento posterior –los fragmentos triturados se tamizan para asegurar su uniformidad y eliminar materiales no deseados–. Posteriormente se emplea una extrusora para fundir el PET mediante energía térmica, a alta temperatura y extruirlo a través de una boquilla cilíndrica para formar barras cilíndricas continuas [2], se aplica calor necesario para el proceso de fusión del PET en la extrusora, donde se alcanzan temperaturas entre 240°C y 270°C para convertir el PET en una masa uniforme [10]. Así mismo, el enfriamiento de las barras cilíndricas extruidas se realiza mediante un baño de agua o enfriamiento por aire para solidificarse. Finalmente, se emplea una sierra de corte o máquina automatizada para cortar las barras a la longitud requerida una vez que se han enfriado y solidificado.

d) Revisión y Control de Calidad

Se examina mediante inspección visual las barras para detectar posibles defectos como burbujas o deformaciones. Posteriormente, se realizan pruebas de resistencia y durabilidad para asegurar que las barras cumplen con los estándares de calidad.

e) Reincorporación de los Desechos

Los residuos generados durante el proceso se gestionan adecuadamente al ser reincorporados al mismo proceso, con el objetivo de reciclarlos nuevamente para minimizar el impacto ambiental.

Durante todas las etapas del proceso de producción, se implementan medias de higiene y seguridad que brindan la protección personal necesaria para evitar enfermedades y/o accidentes.

DISCUSIÓN

En los últimos años, los plásticos han mostrado un auge mundial en su uso y consumo, pero una baja tasa de utilización en el proceso de recuperación, así como se menciona en [11]. En relación a este estudio la propuesta del diseño, se considera viable al estimarse tener un margen significativo de materia prima a partir del desecho plástico para elaboración de barras cilíndricas

para maquinado en torno de maquinado convencional. A nivel económico, también puede ser rentable, concordando con lo citado por [12], al utilizarse producto reciclado con un eficiente proceso de limpieza. Ahora bien, se coincide con [13], en que los residuos de PET limpios y recolectados adecuadamente pueden ser una materia prima ideal para fines industriales.

Se sigue trabajando en el diseño adecuado para mantener un proceso eficiente. También se plantea que cumpla con los estatutos de economía circular y genere una cadena de valor con la recolección y el máximo aprovechamiento de tal producto que, impacta negativamente a los ecosistemas, si no es controlado de la forma adecuada. El logro del modelo de economía circular sobre el plástico es posible, coincidiendo con lo citado por [14].

CONCLUSIONES

La transformación de PET reciclado en barras cilíndricas, como se detalla en esta investigación, representa una importante innovación en el manejo de residuos plásticos y una valiosa contribución hacia una economía circular sostenible. Al recoger y procesar PET de diversas fuentes en Tuxpan, Veracruz-México, en este estudio se propone un método eficiente para convertir residuos plásticos en productos útiles, reduciendo así la cantidad de desechos que terminan en vertederos y el medio ambiente.

El proceso no solo ofrece una solución efectiva para la reutilización del PET, sino que también tiene el potencial de beneficiar a múltiples sectores. Desde la construcción hasta la educación y la industria, las barras cilíndricas producidas tienen aplicaciones amplias que pueden impulsar la sostenibilidad y apoyar iniciativas ecológicas locales.

Además, este enfoque subraya la importancia de la colaboración comunitaria en la recolección de materiales reciclables y el compromiso con prácticas ambientales responsables. La implementación de esta metodología no solo ayuda a gestionar mejor los residuos plásticos, sino que también promueve una mayor conciencia sobre el impacto de nuestras acciones diarias en el medio ambiente.

En última instancia, el éxito de este proyecto demuestra que, con innovación, dedicación y un enfoque en la sostenibilidad, es posible transformar problemas ambientales en oportunidades valiosas, avanzando hacia un futuro más limpio y eficiente.

AGRADECIMIENTOS

Se otorga una distinción relevante al Centro de Estudios Tecnológicos industrial y de servicios número 111 "Vicente Guerrero", por facilitar la obtención de las muestras y trabajar en conjunto con los estudiantes del mismo plantel; y al Tecnológico Nacional de México Campus Teziutlán.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] C. A. Harper, *Handbook of Plastics Technologies*. McGraw-Hill Education, 2006.
- [2] Y. Jiang, C. Liu, and H. Yang, "Mechanical properties and thermal behavior of PET," *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 135, no. 16, pp. 46434, 2018.
- [3] L. Shen, E. Worrell, and M. Patel, "Life cycle assessment of PET recycling and its impact on the environment," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 168, p. 105232, 2021.
- [4] J. Hopewell, R. Dvorak, and E. Kosior, "Plastics recycling: challenges and opportunities," *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 364, no. 1526, pp. 2115-2126, 2009.
- [5] J. Sánchez et al., "Estudio sobre la composición de residuos plásticos en zonas residenciales y escolares," *Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)*, 2023.
- [6] F. Rey, M. Martínez, and J. Ramírez, "Recycling of PET: Impact on quality and sustainability," *Journal of Cleaner Production*, vol. 203, pp. 622-631, 2018.
- [7] K. Williams, *Plastics Recycling and Sustainability*. Springer, 2020.
- [8] R. Kumar and R. Prakash, *Advances in Plastic Processing Technology*. Springer, 2019.
- [9] A. Pizzi, *Wood Adhesives*. CRC Press, 2017.
- [10] M. Zhou and S. Zhang, "Extrusion of PET: Process and performance," *Polymer Engineering & Science*, vol. 60, no. 6, pp. 1229-1236, 2020.
- [11] Y. Zhang, F. Tian, C. Liu, X. Liu, Y. He, and Z. Wu, "Up-cycling of waste PET into high-performance and multifunctional materials," *J Clean Prod*, vol. 434, p. 140048, Jan. 2024, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2023.140048.
- [12] T. Muringayil Joseph et al., "Polyethylene terephthalate (PET) recycling: A review," *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, vol. 9, p. 100673, Jun. 2024, doi: 10.1016/J.CSCEE.2024.100673.
- [13] Z. Jia, L. Gao, L. Qin, and J. Yin, "Chemical recycling of PET to value-added products," *RSC Sustainability*, vol. 1, no. 9, pp. 2135-2147, 2023, doi: 10.1039/D3SU00311F.
- [14] J. Yang et al., "Towards carbon neutrality: Sustainable recycling and upcycling strategies and mechanisms for polyethylene terephthalate via biotic/abiotic pathways," *Eco-Environment & Health*, vol. 3, no. 2, pp. 117-130, Jun. 2024, doi: 10.1016/J.EEHL.2024.01.010.

