

Fabricación de placas de PEAD reciclado como una alternativa sostenible en el desarrollo de productos

Manufacturing of recycled HDPE plates as a sustainable alternative in product development

Gerardo Hernández Neria ^{1,*} and Cesar Adolfo Muñoz Herrera¹

¹ Universidad Autónoma de Guadalajara

* Autor para correspondencia: gerardo.neria@edu.uag.mx

Fecha de recepción del manuscrito: 19/10/2024 Fecha de aceptación del manuscrito: 20/12/2024 Fecha de publicación: 31/12/2024

Resumen—La evolución en el uso de los plásticos ha superado expectativas en muchos sectores de la industria derivado de la tecnología y ciencia de materiales que se enfoca en descubrir y experimentar nuevas alternativas para el uso eficiente de las propiedades de los plásticos y en el consumo sostenible de recursos para su transformación. Sin embargo, la producción exponencial y el uso irracional de los plásticos genera problemas con el control de los residuos, ya que en diversos casos no se cumple con una gestión adecuada que pudiera brindar soluciones de recuperación y reciclado. Esta investigación se fundamenta en los principios de la sostenibilidad y el diseño circular, en donde es necesario implementar soluciones locales que aporten a las necesidades globales para la conservación de los recursos. En este sentido, se presenta una estrategia de reciclado de tapas de Polietileno de Alta Densidad (PEAD) obtenidas por recolección individual y también se implementa un proceso de reciclaje que propicia la fabricación manual no industrializada de placas con dimensiones estándar, demostrando que las placas de PEAD alcanzan propiedades físicas y mecánicas que posibilitan su utilización como materia prima para el desarrollo de productos. Finalmente, se considera que estas estrategias contribuyen a fortalecer la cultura de la recuperación de materiales que son potencialmente reciclables bajo procesos no industrializados.

Palabras clave—Diseño Circular, Polietileno de Alta Densidad, Reciclar, Recuperar, Sostenibilidad.

Abstract—The evolution in the use of plastics has exceeded expectations in many industry sectors due to material science and technology, which focuses on discovering and experimenting with new alternatives for the efficient use of plastic properties and the sustainable consumption of resources for their transformation. However, the exponential production and irrational use of plastics generate issues with waste management, as in many cases, proper management is not followed, which could provide solutions for recovery and recycling. This research is based on the principles of sustainability and circular design, where it is necessary to implement local solutions that contribute to global needs for resource conservation. In this sense, a recycling strategy for High-Density Polyethylene (HDPE) caps is presented, obtained through individual collection. A recycling process is also implemented that facilitates the manual, non-industrialized manufacturing of standard-sized plates, demonstrating that HDPE plates achieve physical and mechanical properties that allow them to be used as raw material for product development. Finally, it is considered that these strategies contribute to strengthening the culture of material recovery that is potentially recyclable under non-industrialized processes.

Keywords—Circular Design, High Density Polyethylene, Recovery, Recycle, Sustainability.

INTRODUCCIÓN

Los plásticos son uno de los materiales más utilizados para la fabricación de objetos, sin embargo, también aportan en gran parte a la contaminación en consecuencia de su mal manejo como residuos después de cumplir con su función, ya que, este material está presente en la mayoría de: envases, envoltorios, electrodomésticos, juguetes y aparatos electrónicos, entre otros. De acuerdo con Reyes (2019), en un estudio para Greenpeace México definen que en este país se producen más de siete millones de toneladas de plástico al

año, de los cuales se define que el 48 % de esta producción es destinado a envases o embalajes que no son reciclados y que se tienen considerados en la valorización de residuos solo el 6.07 % en el país. De acuerdo con información proporcionada por el Gobierno Federal y la SEMARNAT (2003) sobre los residuos sólidos, se menciona que en México se producen al año 9 mil millones de botellas de plástico, esto hace que ocupe el segundo lugar a nivel mundial en la generación de desechos de PET, un ejemplo que menciona es que si se consideran 106 millones de personas en México que consuman 5 botellas de PET al día esto da un total de 530 millones

de botellas de PET.

En los últimos años Torres de la Torre (2020), ha sostenido que el desarrollo de productos se ha enfocado principalmente en la selección de materiales, que a partir de sus propiedades físicas y mecánicas se identifican los requerimientos para definir los procesos de fabricación idóneos que llevaran al producto a cubrir funciones específicas y necesidades de un mercado que constantemente se modifica (Toranzo 2020). Además es importante retomar que los plásticos son considerados como una de las principales alternativas para la fabricación de productos debido a la amplia versatilidad de sus procesos de transformación, donde autores como Torres de la Torre (2020), destacan, que los plásticos generan gran parte de la contaminación ambiental como consecuencia de su mal manejo como residuos después de cumplir con su función principal, es decir, por su lenta degradación lo hace un material perdurable y a su vez contaminante a lo largo del tiempo (Cedeño *et al.* (2022).

En general se tiene definido que los materiales plásticos se clasifican en termoplásticos, termoestables y elastómeros todos estos tienen ciertas propiedades físicas, químicas y mecánicas que les permiten ser usados en diferentes objetos según su necesidad y aplicación. Específicamente, los termoplásticos tienen una estructura molecular de cadena abierta que permite la fundición y transformación en diversas variantes, de tal forma que este grupo de polímeros son clasificados a partir de un sistema conocido como triángulo de Möbius, el cual permite identificar la estructuración del material y la clase a la que pertenecen para saber su posibilidad y condiciones para ser reciclado (Quiroga, 2024).

De esta manera, los avances tecnológicos para Sangucho Barros *et al.* (2023), ayudan a la identificación de las propiedades de los plásticos y sus distintos niveles de complejidad para su aplicación en distintos sectores de la industria y del mercado. Por ejemplo, el polietileno de alta densidad (PEAD) según Ramos Coronel *et al.* (2023), se ha clasificado como un plástico de tipo 2, y que este sistema es fácil de reciclar gracias a sus propiedades mecánicas como la tolerancia a temperaturas altas y bajas. Otra de sus ventajas es su larga vida útil, ya que no mantiene deformaciones permanentes tal como lo afirma Pérez-Bondía (2024), en donde identifica las características del PEAD y en conjunto con diversos autores que han trabajado en investigaciones enfocadas en definir procesos de descontaminación de productos reciclados de este material, donde se presentan alternativas de aplicación en múltiples industrias como la construcción y arquitectura (Solis-Campos y Santa Ana Lozada, 2022), en el fortalecimiento de propiedades mediante procesos de implementación de fibras de refuerzo (Azevedo *et al.*, 2024), incluso en la fabricación de equipos para obtener estructuras específicas a partir del recuperado del PEAD (Bernal *et al.*, 2022).

El objetivo principal de esta investigación es definir una estrategia de recuperación y reciclado de tapas de Polietileno de Alta Densidad para la fabricación de una placa estandarizada mediante procesos no industrializados. La definición y condicionamiento de los procesos manuales son determinantes para obtener propiedades físicas y mecánicas adecuadas para la utilización de las placas como materia prima para el diseño y desarrollo de productos basados en cultura de soluciones locales e individuales. Por lo cual, es necesario

considerar distintos métodos y técnicas de recuperación que potencialicen el proceso de reciclado para obtener un material de calidad que permita futuros procesamientos no industrializados. Es importante mencionar que las máquinas y herramientas de los procesos seleccionados para las pruebas realizadas son de tipo manual-casero por lo que los sistemas de control y parámetros definidos se enfocan en los alcances de estos mismos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El Diseño Industrial es considerado por Bonsiepe (1985), como un proceso evolutivo que permite el desarrollo de productos; además se enfatiza en implementar mejoras desde la funcionalidad y la fabricación (Bürdek (1994), en muchos de los casos se considera hasta la validación de la satisfacción de la necesidad del usuario o cliente (Maldonado (1999); más aún el proceso de fortalecer mediante la consideración de los materiales, sus propiedades, la forma, y la fabricación (Santín (1990). Para generar estos resultados el diseñador se apoya de distintas metodologías según el objetivo del proyecto; en esta propuesta se utilizará la metodología de Pensamiento de diseño circular y estratégico, recalando al proceso de diseño con un factor importante que puede resolver hasta el 80 % del impacto ambiental en un producto.

Al abordar esta metodología de diseño, permite establecer el propósito de identificar nuevas oportunidades que ofrezcan soluciones integrales orientadas a la optimización de los recursos. Henry (2024), indica que el diseño Circular es una metodología de diseño estratégico flexible y holística destinada a identificar nuevas oportunidades para crear resultados sostenibles y circulares. En la figura 1, se muestra la adaptación de la metodología y la consideración de las diferentes fases que el proyecto adoptó para desarrollar la estrategia de recuperación y reciclado de las tapas de PEAD y fabricar placas de materia prima.



Fig. 1: Diagrama Metodología de Diseño Circular (Henry, 2024)

De acuerdo con Almeida y Guzmán G. (2020), la economía circular se puede considerar como una estrategia para el desarrollo sostenible, por lo tanto, el diseño circular retoma estos principios para focalizar principios de acción hacia la reutilización y conservación de los recursos. Y entonces, el proceso de diseño se condiciona en definir alternativas de eficiencia y optimización a lo largo del ciclo de vida del pro-

ducto, de tal forma que el diseñador se considera el responsable de adoptar los principios de sostenibilidad para desarrollar soluciones locales a problemas globales; como es el caso de los plásticos que quedan fuera de los sistemas de gestión de residuos y se convierten en agentes potenciales de contaminación. Henry (2024), señala que se debe aplicar el pensamiento de Diseño Circular por la necesidad ética y económica de dotar a las empresas de una metodología capaz de generar una innovación y sostenibilidad virtuosa. Además, el énfasis del Diseño Circular en conjunto con los alcances de la economía circular busca alinearse en cada una de sus prácticas con los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) dictados por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) y acordados como parte de la Agenda Global para el Desarrollo Sostenible del 2030, que es un plan de acción para las personas, el planeta y la prosperidad, firmado en septiembre de 2015 por los gobiernos de los 193 países miembros de la ONU, lanzado oficialmente a principios de 2016.

Específicamente, la fundamentación teórica de esta investigación ante los alcances del diseño circular se desarrollan soluciones a través de la metodología de Design Thinking para lograr una correspondencia entre los problemas existentes, las exigencias del entorno y el bienestar de las personas (Ketlun, 2020). Por otra parte, el equipo de IDEO en conjunto con la fundación Ellen MacArthur establecieron los principios del diseño circular estructurados en una guía que se enfoca en eliminar la contaminación y los residuos para regenerar la naturaleza a través de una filosofía de hacer circular los materiales y los productos (Brown, 2009).

La propuesta se define de la siguiente manera.

1. **Priorizar el uso de recursos locales o de fácil disposición:** la obtención de los residuos plásticos de tapas de PEAD deben considerarse desde una fuente local, rutas, zonas y puntos de disposición cercanos y que requieran actividades de recolección básicas que eviten el uso de recursos secundarios relacionados con transporte especializado u otros servicios.
2. **Análisis de la recuperación de los recursos y en el consumo de energía:** la cantidad de material de tapas de PEAD que pueda obtenerse en cada punto de disposición es decisiva para garantizar el proceso de recuperación ya que se requieren cantidades específicas de materia prima para fabricar una placa estándar.
3. **Optimizar la separabilidad y durabilidad del residuo:** Es necesario definir las características y propiedades específicas que se requieren de las tapas de PEAD recuperadas, ya que para garantizar un proceso de reciclado se debe considerar la calidad de los residuos desde una visión de separabilidad y durabilidad, ya que si el residuo está en malas condiciones compromete todo el proceso y la materia prima resultante.
4. **Fomentar procesos para el desmontaje y reutilización:** el diseño y selección de procesos para este tipo de materiales debe considerar acciones posteriores que permitan el intercambio y reestructuración del residuo en sí mismo de tapas de PEAD o material obtenido de la fabricación de la placa estándar, facilitado futuras operaciones.

5. **Garantizar la ausencia de pérdidas o mermas durante todo el ciclo de vida:** el reciclaje de residuos implica evitar la generación de más residuos y prolongar situaciones perjudiciales, por ello es necesario el control y cálculo de recursos cada etapa del proceso de desarrollo de producto y sobre todo del trabajo con residuos, la fabricación de placas estándar debe minimizar la generación de residuos de PEAD en todo el proceso.
6. **Incentivar los procesos de mejora continua:** el proceso de recuperación y reciclaje de tapas de PEAD para la fabricación de placas estándar debe mantenerse como un sistema perfectible en el cual a partir de la experimentación sea indispensable la mejora continua de los procesos definidos y con la implementación de herramientas de control se obtengan resultados para fortalecer estrategias definidas.

El diseño experimental en este proyecto va en relación con el proceso de obtención de la materia prima en el cual se describe proceso de recuperación del material, el planteamiento de los requerimientos de diseño. Para el proceso de obtención de la materia prima de este proyecto se basó en procedimientos de reciclaje rescatados de una plataforma llamada *precious plastic*, fundada por el Diseñador Industrial Holandés Dave Hakkens (2013), este equipo busca cambiar la forma en que la sociedad percibe el plástico. Sin embargo, aunque esta plataforma comparte la manera de fabricar productos a partir de procesos semi-industriales ante el reciclaje del plástico.

Este proyecto muestra desde la práctica procesos para la fabricación de placas de PEAD reciclado, como una alternativa sostenible para el desarrollo de productos, mismos que se describen en el siguiente orden:

1. **Recuperación de las tapas de PEAD.** Se definen las estrategias y logística para obtener la cantidad de tapas que se requieren para garantizar la ejecución del proceso.
2. **Fundición de las tapas de PEAD.** Se establecen las características y condiciones para el aprovechamiento de las propiedades de los residuos de PEAD y mejorar las condiciones del proceso de fundición.
3. **Fabricación de placas estándar.** Se define y ejecuta el proceso de fabricación de placas de PEAD bajo condiciones controladas, con herramientas y procesos controlados.

Se realizó un análisis en centros de acopio dedicados a la recolección de residuos industriales, donde se recolectan materiales como el plásticos, cartón y fierro viejo ubicados en una zona Oriente del Estado de México. Del análisis realizado se obtuvieron datos relevantes para conocer la cantidad de residuos que se generan de PEAD con relación a otros residuos en los distintos puntos de recolección y de esta manera calcular el alcance de la presente investigación a nivel local.

La variable de análisis para tener referencia de la cantidad de material PEAD generado, se obtiene a través de relación de la cantidad de botellas de PET que se recolectan, debido a que por cada botella normalmente se genera una tapa de PEAD y la relación del peso de cada tapa se establece en promedio entre el 20% del peso de la botella considerando

la variabilidad de los residuos. En este sentido se recolectó información sobre la recolección y residuos de botellas de PET de 3 centros de acopio ubicados en la Colonia Jardín del municipio Valle de Chalco Solidaridad Estado de México, en la siguiente Tabla 1: se presentan los datos obtenidos con relación de mayor a menor kilogramos que cada lugar recolecta por semana y por mes, para que al final se obtenga la cantidad de material PEAD que se obtuvo.

Tabla 1: Cantidad de residuos de botellas de plástico recolectadas en centros de acopio.

Depósito	Ubicación	Botellas PET por Semana	Botellas PET por mes	Tapas de PEAD por mes
1	Ubicado en Calle Sur 13 entre Oriente 4 y 3	1 070 kg	4 280 kg	856 kg
2	Ubicado en avenida del Mazo entre Avenida Xicoténcatl y Sur 13	800 kg	3200 kg	640 kg
3	Ubicado en sur 11 entre Oriente 4 y 3	150 kg	600 kg	120 kg
Total		2 020 kg	5 200 kg	1040 kg

Los resultados presentados en la tabla 1, hacen evidente que la generación de residuos de tapas de PEAD se convierten en una cantidad considerable para realizar actividades de recuperación de dicho residuo, así como generar estrategias que ayuden al aprovechamiento de este material y promover su reciclaje en nuevos productos o como materia prima. Por otro lado, estos resultados son referencia de las grandes cantidades que se consumen de plásticos en territorios locales y la importancia de hacer conciencia en la manera en cómo se consume y desechan estos residuos, ya que, por falta de políticas de gestión de residuos en municipios y zonas rurales, muchos de estos terminan en vertederos de basura o contaminando espacios públicos.

RESULTADOS

Se presentan las estrategias y definiciones del proceso de recuperación y reciclado de las tapas de PEAD y así mismo la selección de herramientas y equipos para la fabricación de las placas de PEAD. Es importante mencionar que el método presentado se especifica en la selección de procesos manuales no industrializados, con la intención de evidenciar que el objetivo de la investigación es presentar estrategias que ayuden a tomar decisiones locales sobre la recuperación y el reciclado de residuos plásticos como el PEAD para generar alternativas sostenibles en el desarrollo de productos, en para el caso de la investigación es la fabricación de una placa estándar que servirá como materia prima.

A continuación, se describen los 3 procesos definidos como parte de la estrategia para fabricar placas de PEAD:

■ Recuperación de las tapas de PEAD

El proceso de recuperación se enfoca en definir las medidas para el acopio de las tapas de PEAD, así como establecer las actividades necesarias para optimizar las características físicas del residuo y garantizar el posterior proceso de transformación. Para este proceso de definición se realizaron las siguientes actividades: Recolección, Clasificación, Limpieza y Secado.

1. Recolección del material: se recolectaron alrededor de 500 gramos de tapas de PEAD en uno de los centros de acopio analizados. En la figura 2, se observa que existe variación en las características físicas de las tapas recuperadas, esto es derivado de la falta de controles en el propio proceso de recepción de los residuos, las variaciones se identifican en tamaño, espesor y color.



Fig. 2: Proceso de recolección de tapas de PEAD.

2. Clasificación de material: en este proceso es importante determinar una variable para realizar el proceso de clasificación. En la tabla 2, se presenta el esquema de correlación para optimizar los procesos posteriores y definir las características de la clasificación: por tamaño, espesor o color son determinantes al establecer una correlación de tiempo, cantidad y estética.

Tabla 2: Esquema de correlación para clasificación de tapas PEAD

	Tiempo	Cantidad	Estética
Tamaño			
Espesor			
Color			

En la siguiente figura 3. Se muestra que el proceso de clasificación de las tapas se realizó en esta investigación fue por color, ya que, si se consideran factores como el tiempo del proceso, la cantidad de tapas y estética del material resultante, se considerarían las tapas rosas las cuales garantizarían un resultado óptimo. Sin embargo, este proceso de clasificación queda a criterio del ejecutor según lo requiera sus intereses.



Fig. 3: Proceso de separación. Elaboración propia

3. Limpieza: en esta actividad se eliminaron elementos o sustancias ajenas al material del PEAD, por lo que, como se muestra en la siguiente figura 4, se introdujeron las tapas en un recipiente con agua y jabón desengrasante durante 30 minutos. Durante este tiempo las tapas estuvieron en un movimiento constante y posteriormente en un recipiente de agua limpia se retiró el excedente de jabón.



Fig. 4: Proceso de lavado

4. Secado; esta actividad consiste en garantizar la ausencia de líquidos y humedad en las tapas de PEAD. Por lo que en un espacio ventilado y sobre materiales de absorción se colocaron las tapas de forma extendida sobre la superficie por un lapso de 30 min o hasta que se mostraron secas en su totalidad, como se puede observar en la imagen 4.



Fig. 5: Proceso de secado

■ Proceso de fundición

El proceso de fundición se realizó de manera manual con equipo no industrializado, se consideraron las especificaciones técnicas necesarias para garantizar la fundición de las tapas de PEAD. Las herramientas y equipos de apoyo para la fundición son los siguientes; a) parrilla tipo sandwichera la cual se utilizó para generar el calor requerido para fundir el material, b) hoja térmica de silicona y c) guantes refractarios necesarios para manipular el material caliente y protección personal, el procedimiento se llevó a cabo en un área ventilada y a temperatura ambiente.

Las especificaciones del proceso se definieron en relación con la capacidad del equipo de fundición y las características físicas de las tapas de PEAD. Por lo cual, para las primeras pruebas se consideraron diferentes variables y factores que se consideran en la Tabla 3, donde se observa el procedimiento del análisis y la cantidad de tapas necesarias para implementar el proceso de fundición, con la finalidad de controlar los tiempos de fundición y cantidad de tapas que se fundieron hasta obtener un proceso óptimo y eficiente.

Tabla 3: Proceso de Fundición y Sistema de control del proceso en tiempo y cantidad de tapas PEAD.

Cantidad de tapas	Acumulado de tapas	Tiempo de fundición en min.	Acumulado Tiempo de fundición en min.
8	8	7	7
7	15	10	17
6	21	10	27
6	27	13	40
6	33	13	53
12	45	19	72
8	53	11	83
13	66	20	103
Total	66		103 min

Procedimiento de fundición de las tapas de PEAD.

1. Se enciende el horno tipo Sandwichera hasta que alcance los 150 °C.
2. Se coloca una hoja térmica de silicona para concentrar el calor y contener el material fundido,
3. Se colocan las tapas a fundir al centro de la hoja de silicona y sobre la superficie de emisión de calor del horno. En la figura 6, foto 1 se muestra el posicionamiento de las tapas para comenzar la fundición y en la foto 2, se observa la acumulación de material fundido después de colocar material durante el proceso.
4. Se mantiene el material fundido hasta tener la cantidad requerida para modelar el producto.
5. Se tiene que aplicar movimientos rotativos al material para garantizar uniformidad en la conducción del calor.

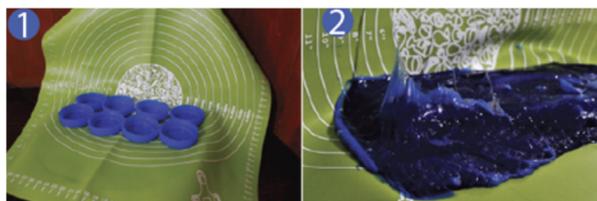


Fig. 6: Proceso de fundición, en la foto 1) se muestra el inicio del proceso al colocar las primeras tapas. foto 2) fundición final de 66 tapas.

El desempeño del proceso de fundición corresponde a las características del material a procesar y bajo las condicionantes de tamaño, espesor y color. Dichas propiedades favorecen o interfieren en la optimización afectando el tiempo de fundición, la cantidad de tapas por fundir y el acabado del material resultante. En la siguiente figura 7. Se identifica el análisis del proceso de fundición de la prueba 2, en el cual se presentan diferencias en las características de las tapas rosas, como en la densidad de la masa que se diferencia por un 30% menos y el espesor en las paredes, presentando un 20% más delgadas en comparación con las tapas de color azul.



Fig. 7: Prueba de fundición No. 2 con tapas rosas.

En la tabla 4, se muestra el procedimiento con otro tipo de tapas de PEAD que poseen características físicas distintas a las tapas azules así mismo los datos de acuerdo con el registro de la cantidad de tapas utilizadas para el Proceso de fundición.

Tabla 4: Proceso de Fundición y Sistema de control del proceso en cantidad y tiempo Tapas PEAD Rosas.

Cantidad de tapas	Acumulado de Tapas	Tiempo de fundición en min.	Acumulado Tiempo de fundición en min.
18	18	7	7
12	30	9	16
14	44	12	28
10	54	10	38
8	62	7	45
Total	62		45 min

■ **Proceso de Conformado**

El proceso de conformado se refiere a asignar una forma final que se desea del material de PEAD fundido, por lo que para este proceso se desarrollaran unas placas con dimensión estándar y bajo la intención de validar condiciones físicas del proceso a través de la integración del material y la maleabilidad en el conformado.

Para este proceso se seleccionó como estructura de conformado la base del horno de la sandwichera debido a que se requiere que se siga manteniendo cierto grado de calor en el material y de esta manera optimizar su propiedad de maleabilidad. Además para optimizar el proceso se utilizó una placa de acero que tiene un peso de 600 gramos que se coloca encima del material fundido para generar presión y mejorar las propiedades del conformado. En la figura 8, se muestran dos fotos del proceso de moldeo del PEAD y el contrapeso de la placa.



Fig. 8: Proceso de conformado de las placas de PEAD, Foto izq. Base para molde de placa. Foto der. Contrapeso de placa de acero.

Finalmente, se deja enfriar el material y se desprende del molde de conformado, es necesario realizar una inspección visual para identificar algunos defectos de procesos anteriores. La figura 9, muestra el resultado de las pruebas de fabricación de placas de PEAD en las cuales se identifican las características y condiciones alcanzadas con los procesos seleccionados y los parámetros definidos.



Fig. 9: Placas de PEAD resultantes del proceso propuesto.

DISCUSIÓN

Las estrategias de recuperación de residuos se han fortalecido en los últimos años gracias a los avances tecnológicos de los materiales y los procesos de transformación que facilitan el diseño y desarrollo de productos. En el campo de los plásticos las consideraciones sobre la recuperación y reciclaje representan una alternativa para el cuidado y conservación de los recursos fomentando un mejor manejo de estos residuos que son considerados comúnmente como desechos al concluir su vida útil.

Las tapas de polietileno de alta densidad son un residuo que se encuentra en cantidades muy grandes debido a su alto consumo y aplicaciones en diversos sectores. Este tipo de materiales posee propiedades y características adecuadas para el reciclaje a partir de procesos básicos. Como se mencionó anteriormente, donde se expone que las tapas de PEAD

ocupan el 20% de la producción relacionada con el consumo de botellas de PET, por lo que es necesario determinar estrategias que se enfoquen en recuperar estos tipos de materiales y establecer estrategias que garanticen su aprovechamiento desde enfoques locales con procesos de transformación no industrializados.

Es importante la determinación de variables para regular y controlar los procesos de las tapas de PEAD, optimizar el proceso de fundición a partir de la consideración de distintos factores ayuda a reducir el consumo de recursos, reducir el desperdicio de materiales, estas variables de optimización se determinan por las siguientes fórmulas:

- Tiempo de fundición: + tamaño – espesor - color
- Cantidad de material: + tamaño + Espesor - color
- Estética del material: - tamaño – espesor + color

Este tipo de estrategias fortalece la importancia de identificar las características físicas y mecánicas de los materiales para facilitar la toma de decisiones al fabricar los productos que busquen prolongar vida útil de los materiales dentro de un contexto local y proponer nuevas aplicaciones objetuales que contribuyan al consumo circular para que cuando ya no se utilice el material del producto pueda ser reutilizado, reparado o reciclado.

El proceso propuesto permite la fabricación y conformado de diversas formas mediante el uso de moldes con formas específicas. Así mismo, el equipo utilizado para llegar punto de fusión del PEAD mantiene una capacidad constante de 150°C, lo que permite mantener el PEAD en un estado de fusión ideal para considerar la utilización de refuerzos y fibras sintéticas o naturales que se enfoquen en la mejora de las propiedades del material resultante de dicha transformación.

Existen proyectos que se enfocan en la recuperación de residuos de PEAD para la fabricación exclusiva de productos de diseño industrial como joyería, accesorios, lentes, juguetes, y mobiliario. En el sector de la construcción y arquitectura se identifican productos considerados como estructuras y acabados, también en la ingeniería se identifican productos resultantes del recuperado y reciclaje del PEAD que se enfocan realizar productos orientados al sector automotriz, civil, movilidad.

Utilizar materiales reciclados en el desarrollo de nuevos productos fortalece al alcance establecido por la ley general de economía circular, la cual de acuerdo con Preciado (2021) buscar promover la eficiencia a través de la reutilización, el reciclaje y el rediseño impulsando que los productos incorporen criterios de economía circular.

CONCLUSIONES

Los plásticos son y serán aquellos con más versatilidad de usabilidad gracias a sus características físicas y sus propiedades mecánicas que corresponden al material en sí mismo, mismas que los vuelven aptos ante cualquier situación que se presente, con una amplia ventaja para su aplicación en un sinnúmero de productos y objetos de la vida cotidiana. El alto consumo de los plásticos genera también una incapacidad en la gestión de los residuos en sectores poco favorecidos y en actividades no reguladas para el propio consumo.

En este sentido la investigación mantiene una postura que se esfuerza por mantener una cultura de recuperación y reciclaje basado en generar estrategias sostenibles de alcance local que fomenten el reciclaje de los materiales residuales como el PEAD y promover la fabricación no industrializada para obtener productos y materias primas orientados hacia una economía circular.

La recuperación de residuos es una herramienta fundamental para la optimización de los recursos, siempre y cuando se determine bajo un sistema analítico que garantice la consideración de las propiedades y características de los materiales residuales para potencializar la reintegración a futuros procesos, como el análisis de las tapas de PEAD que se específico en las características de tamaño, espesor y color para facilitar la recuperación y un posterior proceso de fundición.

En el proceso de fundición y conformado se lograron establecer los parámetros y controles para garantizar uniformidad en el proceso y estabilidad en el material resultante para controlar su maleabilidad, si bien los equipos seleccionados se consideran tipo caseros, es para fortalecer la filosofía de una fabricación no industrializada y que cualquier persona que desee transformar los residuos identifique las condiciones y requerimientos para fabricar cualquier producto a partir de las tapas de PEAD.

Finalmente, los resultados obtenidos promueven la consideración de estrategias sostenibles a través de la recuperación, reutilización y el reciclaje de materiales residuales como de las tapas de PEAD para fabricar palcas estándar que funcionen como materia prima para la manufactura de nuevos productos, impulsando que los productos incorporen criterios de economía circular para la optimización de los recursos.

REFERENCIAS

- Almeida, M., y Guzmán G., M. (2020). Economía circular, una estrategia para el desarrollo sostenible. *Estudios De La Gestión: Revista Internacional De Administración*, 8, 34–56. doi: 10.32719/25506641.2020.8.10
- Azevedo, H. M. d. S. A. R. d., Barros, G. d. S., Silva, G. d. O. d., Faria, A. D., Santos, M. C. C. d., Libano, E. V. D. G., y Pereira, P. S. d. C. (2024). Compósitos de pead reciclado de fibras lignocelulósicas: Efeito do tipo de fibra, do teor e do agente compatibilizante. *Revista Contemporânea*, 4(4), e3546. doi: 10.56083/RCV4N4-064
- Bernal, R. G., Guerrero, C. A. Z., Castillo, J. J. P., Jiménez, J. C. T., y Reyes, F. I. T. (2022). Diseño de prensa hidráulica para reciclar polietileno de alta densidad (hd-pe) en forma de placas. *Ciencia Nicolaita*, 86, 136–148. doi: 10.35830/cn.vi86.682
- Bonsiepe, G. (1985). *El diseño de la periferia*. México: Gustavo Gili.
- Brown, T. (2009). *Change by design: how design thinking creates new alternatives for business and society*. New York: Harper-Collins.
- Bürdek, B. E. (1994). *Diseño: historia, teoría y práctica del diseño industrial*. México: Gustavo Gili.
- Cedeño, G., Crooks, K., Soto, M., Terán, N., y Walters, A. (2022). Conciencia ambiental frente al inadecuado manejo del plástico por el ser humano. *Las Enfermeras De Hoy*, 1(2), 44–58. Descargado de <https://revistas>

.anep.org.pa/index.php/edh/article/view/35

- Henry, y. C. (2024). *Circular design thinking. una metodología per la sostenibilità*. Descargado de <https://www.henryandco.it/circular-design-thinking/> (Circular Design Thinking è una metodologia di design strategico volta all'individuazione di nuove opportunità di circolarità ed alla creazione di risultati sostenibili)
- Ketlun, M. d. (2020). Fases y redes en la metodología del design thinking. *Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación. Ensayos*, 78, 91–102. doi: 10.18682/cdc.vi78.3663
- Maldonado, T. (1999). *Hacia una racionalidad ecológica*. Barcelona: Infinito.
- Pérez-Bondía, E. A. (2024). Estrategias de descontaminación de polietileno de baja densidad reciclado (ldpe) para su uso en contacto alimentario. *Jornada De Jóvenes Investigadores Del I3A*, 12. doi: 10.26754/jjii3a.202410629
- Quiroga, B. E. (2024). Implementación de polímeros termoplásticos reciclados como materia prima potencial para procesos de manufactura aditiva. *Ciencia y Poder Aéreo*, 19(1), 100–111. doi: 10.18667/cienciaypoderareo.802
- Ramos Coronel, P. E., Palma-Zambrano, E. D., y Martínez-Fernández, J. A. (2023). Propiedades mecánicas de plásticos y neumáticos reciclados. *MQRInvestigar*, 7(1), 2053–2077. doi: 10.56048/MQR20225.7.1.2023.2053-2077
- Reyes, H. (2019). *Estudio sobre el impacto de la contaminación por microplásticos en peces de México*. Descargado de <https://www.greenpeace.org/mexico/publicacion/3377/estudio-sobre-el-impacto-de-la-contaminacion-por-microplasticos-en-peces-de-mexico/> (G. México, Productor)
- Sangucho Barros, D., Velasco-Cevallos, D., y Viera-Arroba, L. (2023). Propiedades físicas y mecánicas de reciclados de plásticos producidos en Ecuador como material de construcción. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 16(2), 58–69. doi: 10.29166/reviñAg.v16i2.4495
- Santín, B. y. (1990). “*diseño de productos*”, en *lazo, marío, diseño industrial, tecnología y utilidades*. México: Trillas.
- Solis-Campos, F., y Santa Ana Lozada, P. R. (2022). Pead reciclado reforzado por fibra de vidrio. aplicación en cubiertas. *Pädi Boletín Científico De Ciencias Básicas E Ingenierías Del ICBI*, 10(Especial2), 126–135. doi: 10.29057/icbi.v10iEspecial2.8700
- Toranzo, L. F. (2020). *Selección de materiales en el proceso de diseño* (Vol. 7) (n.º 13). Descargado de <https://portal.amelica.org/ameli/journal/784/7843892009/> ([fecha de Consulta 1 de octubre de 2024])
- Torres de la Torre, C. (2020). El futuro de los plásticos o los plásticos del futuro. *Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación. Ensayos*, 87, 229–242. doi: 10.18682/cdc.vi87.3768