

Elaboración de silla infantil a base de botellas plásticas (HDPE) recicladas – estrategia para la conservación

Manufacture of children's chair from recycled plastic bottles (HDPE) - strategy for conservation

Surhay Monterrey¹, Grethel Morán¹, María Colmenares¹, Viccelda Domínguez²

¹Universidad Tecnológica de Panamá, Facultad de Ingeniería Civil, Panamá

Fecha de recepción: 18 de febrero de 2024. **Fecha de aceptación:** 5 de octubre de 2024.

***Autor de correspondencia:** viccelda.dominguez@utp.ac.pa

Resumen. Para la confección del prototipo de silla infantil a base de botellas plásticas se tomaron en cuenta diversos factores: los métodos de fundición, los moldes a utilizar y las propiedades del HDPE; los métodos de fundición de fuego indirecto y directo fueron los óptimos, además el factor de la temperatura de fundición fue un punto especial. Para la elaboración de la silla se recolectó el HDPE, se limpió debidamente, luego se trituró, se fundió y finalmente se moldeó. Se logró construir una silla a base de plástico desechado funcional mediante el reciclaje innovador y con probabilidades de aceptación por los consumidores; que resistió una carga de deformación de 187.29N y superó las pruebas de impermeabilidad y flotación.

Palabras clave. HDPE, plástico, reciclaje, silla infantil.

Abstract. To make the prototype, several factors were considered: the casting methods, the molds to be used and the properties of HDPE; the indirect and direct fire casting methods were the optimal ones, and the casting temperature factor was a special point. For the elaboration of the chair, the HDPE was collected, properly cleaned, then crushed, melted, and finally molded. It was possible to construct a chair based on functional discarded plastic through innovative recycling and likely to be accepted by consumers; it withstood a deformation load of 187.29N and passed waterproofing and flotation tests.

Keywords. HDPE, plastic, recycling, children's chair.

1. Introducción

1.1 Antecedentes

Desde 1933, cuando los Laboratorios *Imperial Chemical Industries* (ICI) de Inglaterra sintetizaron el polietileno, hasta la actualidad; este material inorgánico ha formado parte de la vida del hombre [1]. El plástico tipo 2, Polietileno de Alta Densidad (HDPE por sus siglas en inglés), se usa para elaborar la mayoría de los envases de productos de limpieza que salen al mercado mundial [2][3]. La fabricación masiva de los plásticos se debe a su bajo costo de producción, lo cual genera un incremento en los residuos sólidos plásticos (RSP) [4][5]. En el mejor de los casos estos desechos son llevados a rellenos sanitarios para su disposición final, pero un informe realizado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS) en el 2010, muestra que el 27.1% de los desechos

sólidos urbanos (DSU) de la población latinoamericana cuenta con una deficiente disposición (quemados a cielo abierto, arrojados en cuerpos de agua y usados como alimento de animales) [6].

Se estima que alrededor de 11 millones de toneladas de plástico llegan a los océanos anualmente, por lo que los ecosistemas marinos se ven afectados por la contaminación a causa de la inadecuada gestión de los RSP [7]. Según un diagnóstico realizado en el 2017 por la AAUD, el 40% de la basura a nivel nacional es depositada en el Relleno Sanitario “Cerro Patacón” siendo el 17.2% plásticos [8].

El objetivo de esta investigación es elaborar una silla infantil de HDPE que sea un aporte a las estrategias para reducir la cantidad de botellas plásticas que llegan a los sitios de disposición.

1.2 Criterios y/o restricciones

- **Economía Circular**

Al implementar un modelo económico más sostenible, se disminuye los RSP y se obtiene materia prima funcional para un nuevo proceso de fabricación [5]. El plástico es un material de difícil degradación con un promedio de 150 años en el caso del HDPE, por lo que cuenta con una larga vida útil, este factor es beneficioso al buscar soluciones innovadoras de reciclaje [9].

- **Seguridad**

El HDPE es un material impermeable y de baja reactividad, tiene una resistencia al calor bastante alta (100°C) y presenta una buena estabilidad química a pesar de ser sometido a un proceso de fundición (135°C) [10] [18]. Debido a estas características, el prototipo es rígido y de buena calidad. Cuenta con un factor de seguridad de 1.26, lo que indica la estabilidad de la silla.

- **Especificaciones**

El prototipo esta confeccionado a base de HDPE fundido, los pies de la silla tienen una altura de ±21cm y un diámetro de ±3.35cm. También cuenta con cuatro (4) soportes en la parte inferior para generar estabilidad; los dos (2) soportes ubicados en la parte delantera y posterior miden ±13.7cm de altura y ±3.4cm de diámetro, en cambio los apoyos laterales tienen ±21cm de altura y ±3.5cm de diámetro. La silla con los acabados finales pesa 4.11kg.

1.3 Soluciones existentes

Las soluciones más significativas a la problemática del plástico de un solo uso HDPE son:

- **Nacionales:**

Plastic Legno, se dedica a la creación de madera plástica a partir de material 100% reciclado, con los cuales se realizan diferentes tipos de inmuebles como mesas de pícnic, entre otros [11].

- **Regionales**

En Colombia se encuentra la empresa Bloqueplas dedicada a la construcción de bloques a partir de RSP con el fin de crear viviendas ecológicas y seguras ante fenómenos sísmicos [12].

- **Mundiales**

En Bélgica, Ecobirdy fabrica mobiliario infantil a base de juguetes antiguos buscando concientizar a la niñez de los beneficios del reciclaje [13].

- **Prototipo similar en Panamá con aplicación distinta**

Sanson Madera Plástica es una empresa dedicada a la elaboración de madera plástica utilizada en proyectos como: Parque Infantil de Ciudad del Saber, Sendero Parque Nacional “El Charco”, Muelle Flotante en Isla Naos, entre otros [14].

A diferencia del prototipo elaborado en este estudio, las empresas expuestas cuentan con maquinaria especializada para la creación de sus productos.

2. Metodología

Para la elaboración del prototipo se debe seguir un esquema de procedimiento que permita generar un producto de alta calidad [15] (figura 1).

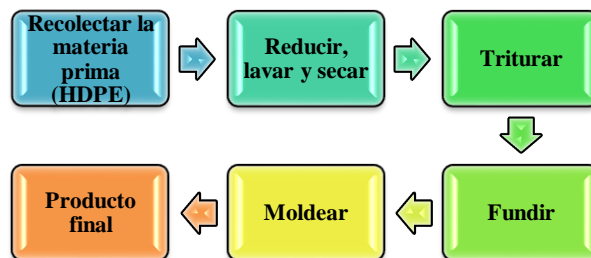


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de elaboración del prototipo.

2.1 Materiales

Para la creación del prototipo se utilizó la ecuación (1), se recurrió a la densidad del HDPE (0.97g/cm³) [16] y al volumen de acuerdo con las figuras geométricas que conforman la silla.

$$d = \frac{m}{v} \Rightarrow m = dv \quad (1)$$

Donde: *d* es la densidad, *m* es la masa y *v* el volumen [24].

Es importante establecer un margen de error en la cantidad de kg a utilizar por cada silla, en este estudio se tomó 2kg arbitrariamente, por ende, la masa total sería de 6.90kg.

En la etapa de moldeo es primordial la elección de los moldes, en este caso se utilizaron 2 tipos: barras de acero para confeccionar tanto los pies de la silla como los soportes y resina de poliéster con fibra de vidrio [17] para el asiento y el respaldo. Las cantidades expuestas en la tabla 1 fueron usadas para la confección de la silla infantil. El tamaño de la silla puede variar de acuerdo con las dimensiones.

Tabla 1: Materiales utilizados en la creación del molde de la silla

| Materiales | Cantidades |
|--------------------------|------------|
| Resina de poliéster | 1 galón |
| Fibra de vidrio (tela) | 3 yardas |
| Secante | 6 onzas |
| Brocha | 1 |
| Grasa de carro | 5 onzas |
| Modelo de silla infantil | 1 |

Fuente: [18]

Otro punto fundamental es el método por utilizar en la etapa de fundición. En las tablas 2, 3 y 4 se analiza los tres procesos empleados en este estudio [9] [18].

Tabla 2: Características del método de fundición en horno

| Fundición en horno | | |
|----------------------------------|----------------------------|---|
| Materiales | Ventajas | Desventajas |
| Horno industrial de laboratorio. | Control de la temperatura. | Requiere de mucho tiempo para alcanzar las temperaturas deseadas. No es factible para fundir material sin el molde. Liberación excesiva de gases. |

Fuente: [19] [20]

Tabla 3: Características del método de fundición a fuego directo

| Fundición a fuego directo | | |
|---|--------------------------|---|
| Materiales | Ventajas | Desventajas |
| Estufa portátil. Bandeja de acero. Tanque de gas. | Es el método más rápido. | No hay control de temperatura. Liberación excesiva de gases. |

Fuente: [15] [19]

Tabla 4: Características del método de fundición a fuego indirecto

| Fundición a fuego indirecto | | |
|---|---------------------------|--|
| Materiales | Ventajas | Desventajas |
| Estufa portátil. Bandeja de acero. Tanque de gas. Cilindro de acero. | Poca liberación de gases. | No hay control en la compactación de las piezas. |

Fuente: [19]

2.2 Procedimiento

Para realizar el prototipo:

- Se recolectó la materia prima (HDPE).
- Se cortó el plástico en porciones más pequeñas.
- Se lavaron los recortes en abundante agua y jabón.
- Se colocó el plástico al aire libre para secar con la ayuda de la luz solar (figura 2a).
- Se trituró el HDPE (figura 2b).
- Se fundió el plástico a 210°C [21].
- Se vertió el plástico fundido en los moldes recubiertos con aceite hidráulico.
- Se dejó reposar hasta endurecer dentro del molde.
- Se armó el prototipo.



Figura 2. Proceso de elaboración del prototipo. a. Secado del HDPE. b. Trituración del HDPE.

En la figura 3 se presenta el proceso final de elaboración del prototipo, la silla ensamblada (figura 3a) y con los acabados finales (figura 3b).



Figura 3. Proceso de elaboración del prototipo. a. Prototipo sin acabados. b. Prototipo barnizado.

2.3 Pruebas de validación

Las pruebas de validación al prototipo fueron:

- **Prueba 1 – Impermeabilidad**
El prototipo fue sumergido en una tina con agua por alrededor de 10 minutos.
- **Prueba 2 – Flotabilidad**
El prototipo se colocó en una tina con agua para comprobar la fuerza de flotación (figura 4a)
- **Prueba 3 – Deformación**
El prototipo fue sometido a diferentes presiones de carga de compresión en una máquina de ensayo universal (Forney Testing Equipment) hasta el punto de fractura, las cuales fueron 22.563 N, 174.81 N, 177.21 N, 182.01 N y 187.29 N respectivamente (figura 4b).



Figura 4. Pruebas de validación del prototipo. a. Prueba de flotabilidad. b. Prueba de deformación.

3. Resultados y discusión

3.1 Construcción y validación del prototipo

Se realizaron tres muestras del prototipo (tabla 5) con el fin de comparar el material óptimo.

Tabla 5. Ventajas y desventajas de los prototipos de acuerdo con el material utilizado

| Material | Ventajas | Desventajas |
|----------------------|---|--|
| HDPE | Único material necesario. Peso moderado (4.11 kg). | Alta porosidad por mala compactación. |
| Cemento, yeso y HDPE | Fácil elaboración. | Mezcla de materiales. Peso excesivo de las piezas del respaldar y el asiento. |
| Yeso y HDPE | Fácil elaboración. | Fracturación del prototipo. |

De acuerdo con lo obtenido, el prototipo óptimo fue el de HDPE. De igual forma, al optar por este material se disminuye la cantidad de RSP, por ende, se reduce la contaminación del medio ambiente al darle un segundo uso. La figura 5 muestra el prototipo de cemento y yeso con plástico HDPE triturado.



Figura 5. Prototipos de cemento y yeso con plástico HDPE triturado. a. Piezas del prototipo de cemento. b. Prototipo de yeso fracturado.

Se implementó el método de fundición de horno para la confección de las 4 patas; las cuales resultaron con muchas fallas, debido al limitado control del proceso (figura 6a). En el caso del respaldar y el asiento se recurrió al método de fuego directo porque se podía verter el HDPE fundido directamente a los moldes; al tener mayor control del proceso, las piezas se compactaron mejor obteniendo una buena estructura (figura 6b). Finalmente, se usó el método de fundición a fuego indirecto para la creación de los soportes, estos presentaron una mejor estructura en términos de compactación (figura 6c).

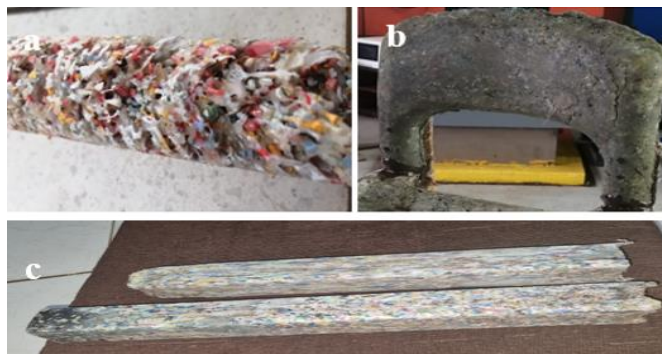


Figura 6. Piezas realizadas mediante los diferentes procesos. a. Pieza del método de horno. b. Pieza del método a fuego directo. c. Pieza del método de fuego indirecto.

En la figura 7 se muestra el gráfico de las cargas de deformación de la prueba 3. El prototipo falló por corte en la pata frontal derecha bajo una carga de 187.29N, lo que equivale a 19.09 kg. Este valor certifica que la silla es apta para soportar el peso de un niño promedio de 3 años a 4 años [22].

Al obtener la carga máxima se logró conseguir el factor de seguridad. El prototipo presentó una inclinación hacia la pata frontal derecha debido a un error de ensamblaje, también es importante resaltar que, al confeccionar las patas mediante el método de fundición de horno, existían porosidades y una mala compactación, lo que generó la poca estabilidad de la silla. El ángulo de fracturación del pie de la silla de plástico fue de 50°.

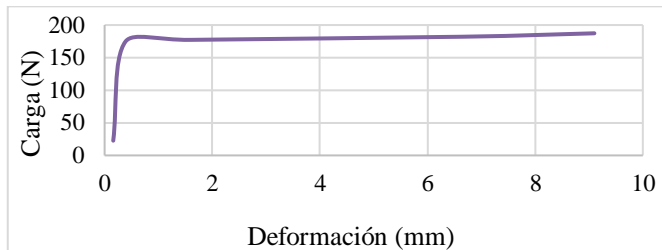


Figura 7. Cargas de deformación.

Después de realizar los pasos especificados en el procedimiento y realizar las pruebas, se logró un prototipo funcional.

3.2 Oportunidades de desarrollo del prototipo

- Este producto va dirigido a los infantes de 3 años a 4 años, y a toda persona con deseos de apoyar el reciclaje innovador.
- En comparación a los productos similares en el mercado mundial [13], el prototipo es más accesible económicamente, debido a la fácil disponibilidad de la materia prima.

- En la tabla 6 se presentan los costos aproximados de elaboración del prototipo.

Tabla 6: Costos de implementación

| Materiales | Costo de materia prima (dólar) | Cantidad bruta | Cantidad por unidad | Costo por unidad de silla |
|-----------------------------------|--------------------------------|----------------|---------------------|---------------------------|
| HDPE | 0 | 25.91 kg | 6.9 kg | 0 |
| Pegamento epóxico | 31.02 | 600 ml | 150 ml | 7.75 |
| Tornillos | 1.99 | 50 unidades | 10 unidades | 0.20 |
| Barniz | 4.99 | 236 ml | 47.2 ml | 0.99 |
| Molde | 53.50 | 10 unidades | 1 unidades | 5.35 |
| Mano de obra no calificada diaria | 25.00 | 8 | - | 3.12 |

- El riesgo principal en la implementación del prototipo es la falta de educación en el ámbito del reciclaje y la aceptación de las personas, también en el mercado existen diversas sillas a base plástico. Otro punto por tomar en cuenta es la falta de estudios en base al material utilizado y como este puede afectar la salud de los niños.
- En la tabla 7 se presenta la relación beneficio/costo (B/C), la cual indica que la producción del prototipo es sostenible.

Tabla 7. Análisis de beneficio/costo

| | | | |
|---------------------------|--|-----|-------|
| Costo por unidad | | B/. | 17.41 |
| Precio por unidad | | B/. | 20.00 |
| Ganancia bruta por unidad | | B/. | 2.59 |
| Relación B/C | | | 1.14 |

- El grado de innovación del proyecto es la forma en la que se le brinda un segundo uso al plástico HDPE.

4. Conclusiones

- Se logró construir una silla a base de plástico desechado, que resistió una carga de deformación de 187.29 N y superó las pruebas de impermeabilidad y flotación. De acuerdo con un artículo de investigación, el material creado al fundir HDPE triturado se puede implementar como una posible alternativa en el desarrollo de construcciones e inmuebles a bajo costo [18] [23].

- La creación de esta silla a base de plástico reciclado impulsa estrategias ambientalistas.
- Al desarrollar este proyecto se presentaron diversas complicaciones. En primer lugar, al no contar con una metodología precisa, se implementaron métodos artesanales que dificultaron la compactación del plástico, debido a esto se tuvo que experimentar para obtener los resultados deseados. Otro punto importante fue la liberación de gases, debido a que los mismos a la larga pueden ocasionar problemas en la salud. El tiempo y la situación actual en el país no permitió continuar con las mejoras a corto plazo del proyecto.
- Se recomienda realizar estudios del impacto de los gases liberados en la salud de las personas y realizar una caracterización del material creado con plástico HDPE fundido en todas sus etapas desde su recolección hasta su disposición final luego de finalizar su vida útil. También utilizar una máquina inyectora de plástico para la elaboración de este tipo de prototipos. Luego del proceso de moldeo se llegó a la conclusión que la forma óptima de moldear es mediante la técnica de fuego indirecto empleando un molde de acero engrasado con aceite hidráulico, en caso tal no se cuente con la máquina inyectora. Por otro lado, se debe buscar alternativas de pegamentos amigables con el medio ambiente que cumpla con la función de anclaje. Finalmente, se recomienda hacer varios prototipos para realizarles las pruebas establecidas en las normas ISO 7173 e ISO 7174-1, también aplicar la prueba D621 de la ASTM con los debidos parámetros.
- Según la encuesta efectuada, el producto es gratamente aceptado por los consumidores.

AGRADECIMIENTOS

A la AAUD, Ing. Jorge Guevara y Bertha Barretto. A la subgerente general Cindy Riascos y al gerente de operaciones Andrés Delgado de RECIMETAL. Al Departamento de Áreas Verdes, especialmente al Señor Agustín Ábrego. Al señor Edilberto Martínez. Al Ing. Javier Navarro, director encargado del CEI, al Ing. Jesús Villar, jefe del laboratorio de ensayo de materiales, también a los Ing. José de la Cruz y Rogelio Mogoruz. A Yosef Delgado.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener algún conflicto de interés.

REFERENCIAS

- [1] Barragán C, «El descubrimiento de los plásticos: de solución a problema ambiental,» 2 agosto 2018. [En línea]. Available: <https://revistas.itc.edu.co/index.php/letras/article/view/51>.
- [2] Plancarte M., «(Tesis) Plan de negocios para un centro de molienda de plástico de (polietileno tereftalato) (PET), polietileno de alta (HDPE) y polipropileno (PP)) en Morelia, Michoacán,» septiembre 2018. [En línea]. Available: http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/6158.
- [3] Kamaruddin M., «Potential use of Plastic Waste as Construction Materials: Recent Progress and Future Prospect,» *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 267, p. 012011, 2017.
- [4] R. A., «El reciclaje como alternativa de manejo de los residuos sólidos en el sector minas de Baruta, Estado Miranda, Venezuela,» *Redalyc.org*, vol. 39, n° 86, pp. 157-170, 2015.
- [5] Singh N., «Recycling of plastic solid waste: A state of art review and future applications,» *Sciencedirect*, vol. 115, pp. 409-422, 2017.
- [6] Espinoza P., «Informe de la evaluación regional del manejo de residuos sólidos urbanos en América Latina y el Caribe 2010,» América Latina y el Caribe, 2010.
- [7] Naciones Unidas, «Noticias ONU,» 22 marzo 2022. [En línea]. Available: <https://news.un.org/es/story/2022/03/1504922>.
- [8] AAUD, «Evaluación de la Situación Actual y Plan de Acción para el Mejoramiento del Servicio en la Autoridad de Aseo Urbano y Domiciliario (AUUD),» Panamá, 2019.
- [9] Yong L., «Preparation and properties of recycled HDPE/natural fiber composites, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing,» vol. 38, n° 7, 2007.
- [10] Rodrigues M., «Estudio inicial para el uso de materiales compuestos de resina epóxica y fibras de cobre con el fin de crear moldes de inyección para producciones cortas o pre-series,» <https://repositorio.uc.cl/>, p. 63, 2022.
- [11] «Plastic Legno,» 2022. [En línea]. Available: <https://plasticlegno.net/>. (consultado el 15 de diciembre de 2023).
- [12] «Sanson Madera Plastica,» [En línea]. Available: <https://www.sansonmaderaplastica.com/informacion>. (consultado el 15 de diciembre de 2023).
- [13] «Ecobirdy,» [En línea]. Available: <https://www.ecobirdy.com/>.
- [14] «Sanson Madera Plastica,» [En línea]. Available: <https://www.sansonmaderaplastica.com/informacion>. (consultado el 15 de diciembre de 2023).
- [15] P. Kulkarni, «Recycling of waste HDPE and PP plastic in preparation of plastic brick and its mechanical properties, » *Cleaner Materials*, vol. 5, p. 100113, 2022.
- [16] Martínez C., «Desarrollo y caracterización a fractura de polímeros reforzados,» *Repositorio Institucional DGBSDI-UAQ*, 2022.
- [17] Vázquez R., «Sensado de propiedades físicas en material compuesto de fibra de vidrio y resina de poliéster,» *Jóvenes en la ciencia*, vol. 6, 2019.
- [18] Alliende R., «Tesis, estudio inicial para el uso de materiales compuestos de resina epóxica y fibras de cobre con el fin de crear moldes de inyección para producciones cortas o pre-series,» Chile, 2021.
- [19] Pineda M., «Estudio de factibilidad técnica para fabricación de bloques de plástico reciclado por fundición,» *REDICCES*, n° 2072-568X, 2019.
- [20] E. B. Mejía, «Impact on HDPE Mechanical Properties and Morphology due to Processing» *Advances in Science and Engineering Technology International Conferences (ASET)*, 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICASET.2019.8714456.
- [21] Jurado J., «Análisis de un proceso de inyección de plástico por interacción fluido estructural y cambio de estado,» *SciELO*, 2019.
- [22] Veloz V., «Estimación del peso conforme a la edad en niños y niñas ecuatorianos: validación de la ecuación APLS,» Madrid, 2021.
- [23] Roberto C. Vázquez F., «Effect of Wood Fiber Surface Treatment on the Properties of Recycled HDPE/Maple Fiber Composites,» *Deesy G. Pinto and Virupaxi Auradi*, p. 177, 2021.
- [24] B. L. Bursten, *Química la Ciencia Central*, Pearson, 9° Edición, 2004, pp. 17.