

Implementación de un procedimiento de moldeo por inyección para el aprovechamiento de materiales termoplásticos de barreduras generados en industrias Estra S.A.



Implementación de un procedimiento de moldeo por inyección para el aprovechamiento de materiales termoplásticos de barreduras generados en industrias Estra S.A.

María Alejandra Marín López

Informe de práctica para optar al título de Ingeniera de Materiales

Asesores

Hugo Ossa, Ingeniero Mecánico, Especialista (Esp)

Diego Hernán Giraldo Vásquez, Ingeniero Mecánico, MSc, Dr. en Ingeniería

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Ingeniería de Materiales
Medellín, Antioquia, Colombia
2021

Cita	Marín López [1]
Referencia	[1] M.A. Marín López, “Implementación de un procedimiento de moldeo por inyección para el aprovechamiento de materiales termoplásticos de barreduras generados en industrias Estra S.A.”, Trabajo de grado profesional, Ingeniería de Materiales, Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia, Colombia, 2021.
Estilo IEEE (2020)	



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Cespedes

Decano/Director: Jesús Francisco Vargas Bonilla

Jefe departamento: Francisco Javier Herrera

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	7
1. INTRODUCCIÓN	8
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	9
3. OBJETIVOS	12
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	12
3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	12
4. MARCO TEORICO	12
4.1. Termoplásticos utilizados en Industrias Estra S.A.	12
4.2. Reciclaje y economía circular de plásticos.	14
4.3. Índice de fluidez másico en materiales reciclados.....	18
5. METODOLOGIA	19
5.1. Revisión bibliográfica.	19
5.2. Evaluación de condiciones de entrega de material separado.	19
5.3. Evaluación de índice de fluidez másico -MFI.....	20
5.4. Elaboración de probetas para evaluación de propiedades mecánicas y realización de ensayos de tensión y flexión.	20
5.5. Realización de pruebas del material de barredura en producto.....	20
5.6. Evaluación de ensayos de calidad a producto elaborado con material de barredura. 22	
5.7. Posibles aplicaciones	22
6. RESULTADOS Y ANALISIS	22
6.1. Evaluación de condiciones de entrega de material separado.	24
6.2. Evaluación de índice de fluidez másico -MFI.....	29
6.3. Elaboración de probetas para evaluación de propiedades mecánicas y realización de ensayos de tensión y flexión.	31
6.4. Realización de pruebas del material de barredura en producto.....	35
6.5. Evaluación de ensayos de calidad a producto elaborado con material de barredura. 37	
6.6. Posibles aplicaciones	41
7. CONCLUSIONES	41
8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	43

Implementación de un procedimiento de moldeo por inyección para el aprovechamiento de materiales termoplásticos de barreduras generados en industrias Estra S.A.

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. a) Residuos barridos al interior de la planta de producción de Industrias Estra S.A.; b). Basuras separadas del material de barreduras.	10
Figura 2. Material de barreduras generado en la planta de producción de Industrias ESTRA S.A.	11
Figura 3. Esquema de separación por flotación de algunos tipos de polímeros utilizando solventes con diferente densidad [18].	17
Figura 4. Ruta de aprovechamiento enfocada al programa Estraeco Renueva para materiales reciclados.	23
Figura 5. Proceso de separación de material de barreduras.	25
Figura 6. Material separado por la empresa Separaplast S.A.S.; a) Ripio; b) barredura sucia; c) material contaminado; d) material policolor y e) material original.	25
Figura 7. Ensayo de separación por flotación realizado a material de barreduras; a) material policolor; b) material original.	27
Figura 8. Diagrama de barras con los resultados del ensayo de separación por flotación para material original.	28
Figura 9. Diagrama de barras con los resultados del ensayo de separación por flotación para material original.	29
Figura 10. Imágenes de muestra de material fundido en plastómetro.	30
Figura 11. Probeta utilizada para realizar ensayos de flexión.	32
Figura 12. Probeta y ensayo de flexión. a) Probeta de material original de barredura; b) ensayo de flexión en proceso para una muestra de material original.	32
Figura 13. Curva esfuerzo vs. deformación, para los 5 ensayos de flexión que se realizaron a probetas de material original de barreduras.	33
Figura 14. Probeta y ensayo de tensión. a) Probeta de material original de barredura; b) ensayo de tensión en proceso para una muestra de material original.	34
Figura 15. Curva esfuerzo vs. deformación, para los 5 ensayos de tensión que se realizaron a probetas de material original de barreduras.	35
Figura 16. Ponchera cuadrada de 12 L, inyectada con material original de barredura; a. Azul. b. Gris.	36
Figura 17. Defectos presentados en poncheras inyectadas con material original de barreduras.	37
Figura 18. Imagen del ensayo de resistencia al peso.	38
Figura 19. Imagen del ensayo de caída libre sin carga con una distancia de 1 metro.	39
Figura 20. Imagen del ensayo de caída libre con carga con una distancia de 1.20 metro. ..	39
Figura 21. Puntos de impacto para realización de prueba de resistencia al impacto.	40

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Resultados del ensayo de separación por flotación para el material policolor.	27
Tabla 2. Resultados del ensayo de separación por flotación para el material original.	28
Tabla 3. Resultados de ensayos MFI para material original de barreduras.....	30
Tabla 4. Módulo elástico hallado para las probetas analizadas en los ensayos de flexión. .	33
Tabla 5. Resistencia a la tensión hallada para las probetas analizadas en los ensayos de tensión.	35
Tabla 6. Ficha técnica de condiciones de proceso para ponchera cuadrada 12 L con material original de barredura.	36
Tabla 7. Resultados de ensayo de resistencia al peso para ponchera cuadrada de 12 L.	38
Tabla 8. Datos del ensayo de impacto a ponchera cuadrada de 12 L.	40

RESUMEN

En el presente trabajo se implementó una ruta de aprovechamiento para el material residual de barreduras generado en la planta de producción de Industrias Estra S.A., con la finalidad de promover la economía circular al interior de la compañía.

Para este fin se realizó una recolección de las barreduras durante un mes y se desarrolló un proceso de lavado, tamizaje y separación por colores del material residual granulado, para obtener un producto limpio y apto para reprocessar. Como resultado de este proceso se obtuvieron dos tipos de materiales potenciales para reutilizar, material policolor y material original.

Se realizaron pruebas de separación por flotación, utilizando solventes con diferentes densidades con el fin de separar los diferentes polímeros que se encontraran en el material de barreduras, y se encontró que el material con menor porcentaje de mezcla de polímeros era el material original y por tal motivo se continuaron realizando pruebas con este.

Se evaluó un índice de fluidez másico del material original de 31 g/10min y de acuerdo con esto se direccionó el proyecto a evaluar el material en productos del portafolio de Industrias Estra S.A. con un flujo medio.

Los ensayos de tracción y flexión realizados a probetas inyectadas según las normas ASTM D368 y D790, respectivamente, confirmaron que el comportamiento mecánico del material original de barreduras se veía influenciado por el alto porcentaje de polipropileno.

Se realizaron pruebas en la ponchera cuadrada de 12 L perteneciente a la línea de aseo de la compañía y se obtuvieron buenos resultados en los ensayos de calidad realizados a los productos inyectados, determinando los parámetros de inyección que se deben seguir implementando para este producto elaborado en material original de barreduras.

1. INTRODUCCIÓN

Desde la revolución industrial que se presentó a mediados del siglo XVIII, el sector manufacturero se ha regido por un modelo de producción y consumo lineal en el cual los productos son fabricados a partir de materias primas, luego son vendidos, consumidos y finalmente desechados. Si bien este modo de producción genera buenas ganancias, en los últimos años se ha evidenciado una creciente escasez en los recursos naturales y una sobreexplotación de estos; es necesario entonces implementar modelos de producción que permitan una economía sustentable, generando el menor impacto ambiental posible [1]. La economía circular se basa en modelos de negocio que motivan conceptos como reducción, reutilización, reciclaje y recuperación de materiales en los procesos de producción / distribución y consumo, logrando la sostenibilidad industrial [2]; esta concepción está teniendo una gran acogida en sectores como la academia y la industria debido a que es un modelo alternativo que tiene como objetivo minimizar el agotamiento de recursos, el desperdicio de desechos y las emisiones nocivas, pretendiendo establecer un equilibrio donde puedan coexistir la economía y el medio ambiente [3].

Industrias ESTRA S.A. es una compañía colombiana con más de 60 años en el mercado, que produce y comercializa plásticos de larga durabilidad para la industria y el hogar, empleando el proceso de moldeo por inyección. La compañía está comprometida a reducir el material excedente comercializado, generar valor a los residuos aprovechables, aplicar modelos de economía circular que apunten a una generación de basura cero y a reducir la explotación de recursos fósiles. A raíz de este interés nace el programa Estraeco-Renueva, dirigido a empresas que generen residuos plásticos posconsumo y posindustrial que puedan ser aprovechados con acciones coherentes con la economía circular y así darles valor introduciéndolos nuevamente al proceso de inyección, generando también nuevos productos plásticos de ciclos de vida largos. Dentro de la gestión ambiental interna de la compañía, a través de proyectos de investigación y desarrollo y con una apropiada gestión de residuos, se pretende ir incrementando el uso de materias primas recicladas para fabricar los productos propios de la compañía.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Temáticas como la producción y consumo de plástico generan mucha preocupación a nivel mundial, debido a que este material se comercializa y produce en grandes cantidades. En el 2018 la producción de plásticos en el mundo fue de 360 millones de toneladas, valoradas aproximadamente en 9400 millones de euros [4]; además el plástico es producido principalmente a partir de fuentes no renovables como son el petróleo y el gas. Si bien existe una problemática con la producción masiva de este material, este no es el principal inconveniente alrededor del plástico pues genera más preocupación la disposición de este material como residuo al final de su vida útil ya que comúnmente termina contaminando en gran medida el planeta. Se estima que cerca de 6.4 millones de toneladas de residuos contaminan cada año el medioambiente, principalmente los mares y océanos; de ese total entre el 60% y 80% son residuos plásticos. La vida útil de algunos productos plásticos puede ser inferior de un año, mientras que otros presentan una durabilidad de más de 15 o incluso hasta 50 años [4]. Es por esta razón que Europa y China, quienes actualmente son los mayores productores de plástico a nivel mundial con un 40% de participación en el mercado, buscan alternativas basadas en economía circular que minimicen el impacto ambiental de los residuos plásticos y de igual forma generar beneficios económicos, tanto para los residuos posconsumo como los postindustriales, [5].

En Colombia se generan alrededor de 31.000 toneladas de residuos sólidos diariamente, de las cuales se estima que 5.000 toneladas corresponden a material plástico, pero solo el 1,4% de este material es reciclado mientras que el resto termina en vertederos [6]. La industria plástica colombiana tiene una importante participación en torno a la generación de residuos plásticos y por esto la Asociación Colombiana de Industrias Plásticas – Acoplásticos y el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial conjuntamente elaboraron el Convenio Especial de Cooperación Científica y Tecnológica en el cual desarrollaron la guía de procesos básicos de transformación de la industria plástica [5], vinculando transformación, aprovechamiento, manejo y disposición de residuos plásticos, con la

finalidad de involucrar a las empresas productoras y comercializadoras de plástico en procesos de circularidad fomentando no sólo el cuidado medioambiental sino también aumentando la productividad, ganancias económicas y generación de empleo.

Los residuos generados en la planta de producción de Industrias ESTRA S.A. son de diferente naturaleza, sin embargo, en este proyecto son de interés los residuos plásticos ya que al año se producen aproximadamente 65 toneladas de estos. Entre ellos se encuentran el material de barreduras, del cual se producen anualmente aproximadamente 7,8 toneladas. Este desecho corresponde a material en forma de pellets que cae al suelo durante el transporte de la materia prima dentro de la planta o durante el vaciado de esta en las tolvas de alimentación de las máquinas inyectoras, o que cae al suelo en el proceso de mezclado de materia prima con pigmentos y aditivos.

Estos residuos son barridos al interior de la planta de producción y dispuestos en contenedores (ver figura 1a), en donde se separan de las basuras utilizando filtros (ver figura 1b), y finalmente son vendidos como excedentes a empresas externas que actúan como gestores y hacen un reciclaje de este material.

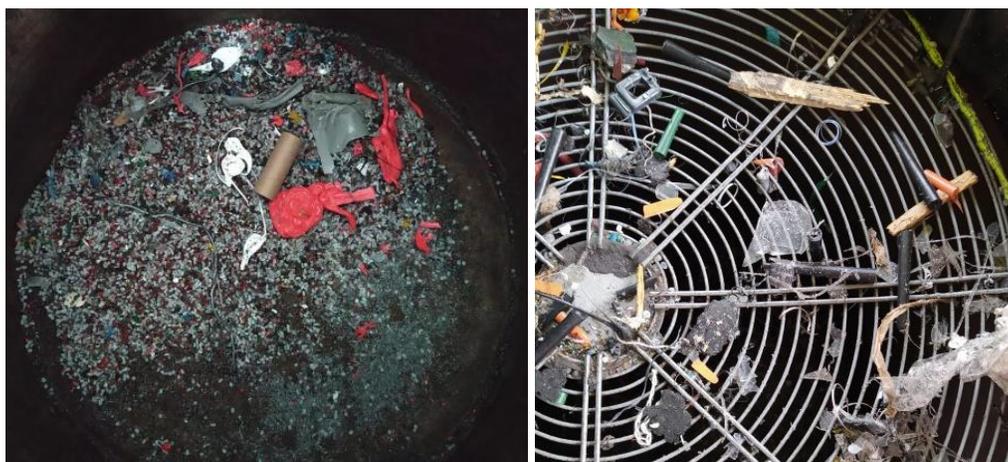


Figura 1. a) Residuos barridos al interior de la planta de producción de Industrias Estra S.A.; b) Basuras separadas del material de barreduras.

Los desechos de naturaleza polimérica tienen una mezcla de todas las materias primas utilizadas en la planta, tales como polipropileno homopolímero (PP-H), polipropileno

Implementación de un procedimiento de moldeo por inyección para el aprovechamiento de materiales termoplásticos de barreduras generados en industrias Estra S.A.

copolímero (PP-C), polipropileno random (PP-R), polietileno de alta densidad (PEAD), polietileno lineal de baja densidad (PELBD), acrilonitrilo estireno butadieno (ABS), entre otros pigmentos y aditivos (ver Figura 2).



Figura 2. Material de barreduras generado en la planta de producción de Industrias ESTRA S.A.

Es de interés para Industrias ESTRA S.A. poder reincorporar estos excedentes a su proceso de producción, y de esta manera ser consecuentes con sus políticas de sostenibilidad y hacer uso de los residuos posindustriales generados en la planta de producción; sin embargo, una problemática encontrada es que no existe información bibliográfica sobre el reciclaje de residuos de material de barreduras. Además, los diferentes polímeros presentes en los residuos de barreduras presentan similitudes en densidades y problemas de compatibilidad, lo cual representa un reto para realizar el proceso de moldeo por inyección. Con el presente proyecto se realizó un proceso de investigación y desarrollo para que los desechos de material de barreduras puedan ser reincorporados al proceso de producción de la compañía mediante moldeo por inyección, por ser el método de transformación en el cual la empresa tiene las mayores capacidades. Para lograrlo fue necesario hacer una adecuada separación de los residuos, y se estudiaron las opciones de moldeo por inyección para elegir las condiciones de proceso más apropiadas de acuerdo con las propiedades del material y el costo del proceso, y así poder reutilizar los residuos de barredura.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

- Implementar en Industrias Estra S.A. un procedimiento para reutilizar en piezas moldeadas por inyección, materiales termoplásticos de barreduras generados como residuos, promoviendo la economía circular en la empresa de manera articulada con el programa Estraeco Renueva.

3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Definir al menos una posible ruta de aprovechamiento del material de barreduras que sea técnica y económicamente viable para la empresa empleando criterios de planeación estratégica basada en la metodología de la investigación.
- Elaborar mediante moldeo por inyección, probetas de 100% material de barreduras a fin de evaluar propiedades mecánicas en flexión según la norma ASTM D790 y en tensión según la norma ASTM D638.
- Proponer un producto potencialmente comercializable que pueda ser moldeado por inyección en Industrias ESTRA S.A. con los residuos de barredura.

4. MARCO TEORICO

De acuerdo con la temática abordada en este proyecto, se presenta a continuación un marco teórico relevante sobre los materiales termoplásticos empleados en Industrias Estra S.A. en los procesos de inyección, conceptos significativos sobre los procesos de reciclaje que se consideran en el proyecto y sobre economía circular.

4.1. Termoplásticos utilizados en Industrias Estra S.A.

Los materiales termoplásticos utilizados en el moldeo por inyección en Industrias Estra S.A. son: el polipropileno (PP), polietileno (PE) y el acrilonitrilo butadieno estireno (ABS); todos ellos reciclables por métodos primarios. Para la compañía las propiedades que se tienen en cuenta en estos materiales para el moldeo por inyección son: el índice de fluidez, la densidad y el módulo de flexión; todo esto debido a que han comprobado a través de su experiencia que son los factores más influyentes en este tipo de procesamiento.

El PE es uno de los polímeros más comercializados en el mundo; entre sus características más relevantes se encuentra su buena tenacidad, ductilidad y su alta resistencia química, así como la poca permeabilidad a la humedad y baja absorción de agua. Además, es un polímero de fácil procesabilidad, es traslúcido y de un tono blanquecino, sin embargo, presenta algunas limitaciones entre ellas un bajo límite elástico y módulo elástico además de un punto de fusión relativamente inferior al de otros termoplásticos semicristalinos como el PP o el PET. Es frecuentemente utilizado para fabricar envases, botellas, entre otra variedad de aplicaciones debido a que muy a menudo es usado en copolimerización [7]. En Industrias Estra S.A. se utilizan algunos tipos de PE, como el polietileno lineal de baja densidad (PELBD) con un índice de fluidez entre 50 y 100 g/10 min, una densidad entre 0,925 y 0,931 g/cm³, y un módulo de flexión entre 265 y 524 MPa; y el polietileno de alta densidad (PEAD) con un índice de fluidez entre 7 y 10 g/10 min, una densidad entre 0.954 y 0,962 g/cm³, y un módulo de flexión entre 1300 y 1570 MPa. En promedio se transforman aproximadamente 162 ton al mes de PE, siendo el PEAD el de mayor uso en la planta de producción; todos estos valores son reportados de las fichas técnicas de cada material, que aportan los proveedores de las materias primas en Industrias Estra S.A

El PP tiene una alta popularidad gracias a sus múltiples usos y aplicaciones, además de su bajo costo. El polipropileno es uno de los plásticos más ligeros, tiene una buena resistencia química, sin embargo, algunos solventes clorados, gasolina y el xileno pueden degradar el material. La estructura del PP es similar a la del PE salvo porque un hidrógeno es sustituido por un grupo metilo en cada átomo de carbono, esto posibilita que se presenten diferentes tipos de PP debido a la estereoisomería, pudiendo presentar cadenas sindiotácticas, isotácticas o atácticas. En Industrias Estra S.A. se procesa PP homopolímero (PP-H) con un

índice de fluidez entre 20 y 25 g/10 min, una densidad entre 0,9 y 0,905 g/cm³ y un módulo elástico entre 1500 y 1800 MPa. El polipropileno copolímero (PP-C) procesado en la compañía tiene un índice de fluidez entre 20 y 60 g/10 min, una densidad entre 0,958 y 0,9 g/cm³ y un módulo elástico entre 950 y 1500 MPa, siendo este último el más utilizado en la planta de procesamiento, transformando en promedio 243 ton al mes de PP. El PP random usado en la empresa tiene un índice de fluidez entre 35 y 80 g/10 min, una densidad entre 0,902 y 0,905 g/cm³ y un módulo elástico entre 1000 y 1200 MPa [7].

El ABS es un material con una buena tenacidad, alta resistencia al impacto, rígido y de buena procesabilidad. Si bien toda la variedad de resinas de ABS tienen como base acrilonitrilo, estireno y butadieno, obtenidas ya sea por procesos de polimerización, copolimerización por injerto o mezclas físicas, los ABS empleados en Industrias Estra S.A. presentan un índice de fluidez entre 17 y 43 g/10 min, una densidad entre 1,03 y 1,04 g/cm³ y un módulo elástico entre 2400 y 2745 MPa [8]. En la planta de producción se transforman alrededor de 45 toneladas al mes de materiales estirénicos.

Debido a algunas similitudes presentadas entre los materiales empleados por la empresa, se pueden presentar algunas dificultades durante el procesamiento de estos materiales por el método de moldeo por inyección, debido a que los materiales pueden ser incompatibles. Además, algunos de los parámetros inherentes al moldeo por inyección como el tiempo de llenado gravimétrico también conocido como tiempo de sostenimiento, las presiones de inyección y el perfil de temperaturas, se pueden ver afectados y consecuentemente presentar inconvenientes durante la inyección del material de barreduras y las piezas inyectadas podrían tener algunos defectos [9][10].

4.2. Reciclaje y economía circular de plásticos.

Una de las tendencias más marcadas en los últimos años, es la transición hacia una sociedad con mejor sostenibilidad ambiental. La implementación de la estrategia de una economía circular resulta bastante útil para promover esta iniciativa, con los países desarrollados estando a la vanguardia utilizando sistemas que reutilizan y reciclan recursos y conservan

energía, sin embargo en países en vía de desarrollo como Colombia, este tipo de estrategias aún no se implementan a gran escala, si bien se espera involucrar en el futuro cercano una serie de leyes basadas en el principio de las 3R (reducir, reutilizar, reciclar) [11].

En los últimos años se ha buscado promover una economía circular de los productos plásticos, y de igual manera fomentar el consumo de plásticos reciclados; la mayoría de estos últimos son utilizados en sectores como la construcción y agrícola. Aunque esto representa un logro, la relación entre el uso de plástico reciclado posconsumo y virgen es muy baja, haciendo necesario el aumento del uso de materiales reciclados en otros sectores [12].

Es sabido que el vertido de residuos plásticos ocasiona problemas medioambientales, debido a la no biodegradabilidad de la mayoría de estos, sin embargo, no se puede minimizar el papel tan importante que han adquirido estos materiales en la vida diaria. Anualmente la producción de plástico consume entre el 4 y 8% de la extracción mundial de petróleo crudo [13]; si estos plásticos son desechados y no reciclados se requerirá de más extracción de recursos que no son renovados y esto también se suma a la problemática alrededor de los desechos plásticos [11].

Existen diferentes formas de reciclar este tipo de materiales. Entre las más comunes está el reciclaje mecánico que consiste en una clasificación, separación, lavado y trituración o molienda de los residuos. Estos pueden quedar en forma de escamas o se pueden reprocesar como pellet. También existe el reciclaje químico como alternativa, aunque no es tan utilizado como el reciclaje mecánico y según una publicación realizada en la página web del Encuentro Internacional del Plástico y el Caucho- EQUIPLAST, este tipo de reciclaje puede representar un impacto ambiental más negativo y costos industriales más elevados que el reciclaje mecánico [14].

Los materiales reciclables provienen de dos fuentes: residuos posindustriales y residuos posconsumo. El presente trabajo se enfoca en residuos posindustriales, los cuales presentan algunas ventajas frente a los posconsumo; entre esas ventajas están que se encuentran libres

de suciedad o contaminación por desechos orgánicos, madera, papel u otros plásticos; otra de las ventajas que presentan es que en algunos casos estos residuos son de un solo material y no están mezclados con otros tipos de polímeros, y una de las más importantes es que se conoce su composición tanto en naturaleza del polímero como de la cantidad de este si el material está mezclado con otro. Sin embargo, los residuos de material de barreduras están contaminados por basuras y además de esto contienen mezclas de diferentes polímeros, lo cual se convierte en un reto para su adecuado reciclaje, teniendo en cuenta que no existe información bibliográfica reportada con una metodología establecida que facilite el reciclaje para este tipo de residuos.

Entre los polímeros más utilizados a nivel mundial se encuentran el PET, el PEAD, el PEBD, el PVC, el PP y el PS. Cada uno de ellos presenta características propias tanto físicas como químicas, es por esto por lo que cuando se tienen productos plásticos de mezclas de estos polímeros el reciclado de ellos se dificulta cuando se reprocesan mediante extrusión o moldeo por inyección como en el caso del presente proyecto, presentando desafíos en términos de procesabilidad y propiedades cuando no se modifican. Además, estos materiales sufren procesos de degradación térmica, primero por su fabricación, luego en el uso y finalmente en el reciclaje mecánico, esto a causa del cizallamiento al que se somete el material durante su flujo [15].

Si a esto se le suma que durante el procesamiento del material es necesario usar algunos aditivos para mejorar propiedades químicas, térmicas, mecánicas e incluso estéticas, hay que tener en cuenta entonces que dichos aditivos también van a interferir en el proceso de reciclaje. Como consecuencia de esto es fundamental tener información de la composición química de los desechos plásticos ya que de allí depende el proceso de reciclaje apropiado para cada desecho [16].

Existen varios métodos para separar mezclas de plásticos, entre ellos uno de los más simples es el método de separación por flotación o hundimiento. Este método también permite la separación de materiales diferentes al plástico, como son las basuras que podrían dañar equipos de procesamiento de polímeros como las máquinas inyectoras, entre otros

[17]. En la separación por flotación se aprovecha la diferencia de densidad de los diferentes plásticos y de esta manera se pueden separar utilizando solventes con valores de densidad distintos. El método consiste en tener el material mezclado con una forma homogénea e introducirlo en un tanque o recipiente que contenga un solvente específico, el cual dependerá del tipo de polímeros que se crea tener en la mezcla, de esta manera algunos plásticos con una densidad menor que la del solvente flotarán y otros con una densidad mayor a la del solvente se irán al fondo del recipiente y de esta manera se pueden separar [18]. En la figura 3 se puede evidenciar cómo es posible separar algunos tipos de polímeros con diferentes solventes.

Es necesario que las densidades de los polímeros que se desean separar sean diferentes para que el sistema de separación por flotación funcione de manera eficiente. En los casos en que los valores de densidad entre los polímeros sea muy similar es necesario hacer una modificación cuidadosa de la densidad del medio, esto podría hacerse diluyendo el solvente con agua, utilizando soluciones salinas, o con suspensiones de partículas finas, entre otros [18].

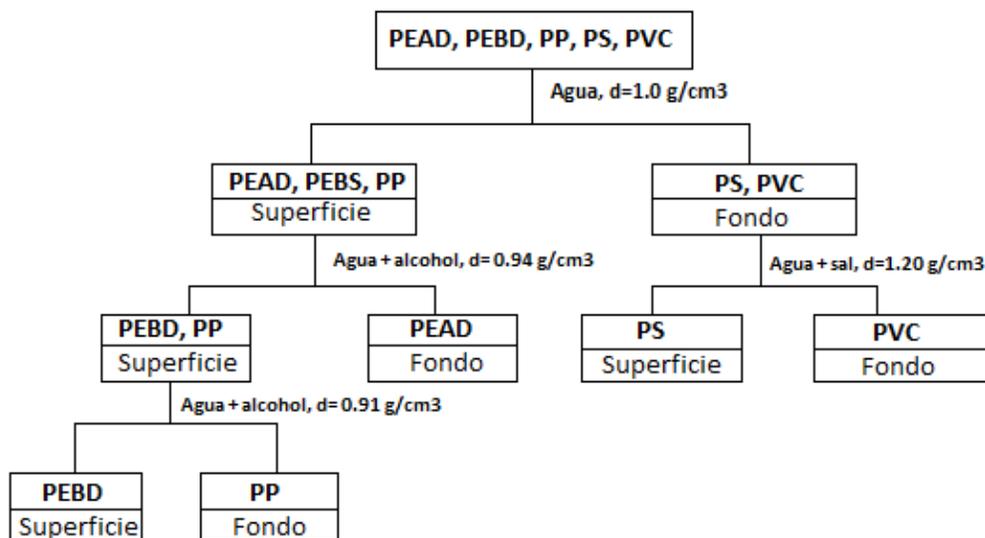


Figura 3. Esquema de separación por flotación de algunos tipos de polímeros utilizando solventes con diferente densidad [18].

Actualmente durante el diseño de un producto plástico se debe tener en cuenta tanto la reciclabilidad de este al final de su vida útil, como la posibilidad de incorporar en su fabricación materia prima reciclada; lo anterior, hace parte del modelo de economía circular en el que se pretende hacer un uso eficiente del material en todos los aspectos, una tendencia llamada diseño a partir del reciclaje. Para realizar ese diseño, es importante identificar las características del polímero reciclado a través de una caracterización y de esta manera relacionar el material con potenciales productos, nuevos o existentes; además de esto, es importante identificar estrategias rentables buscando mejorar la calidad del material adecuándolos a los requerimiento del producto en caso de ser necesario [16].

4.3. Índice de fluidez másico en materiales reciclados.

El índice de fluidez corresponde a una medida de la masa de un polímero en gramos, que es capaz de fluir a través de una cavidad, durante un tiempo determinado a una temperatura fija. De lo anterior se puede concluir que un polímero con un índice de fluidez mayor al de otro polímero, para su procesamiento requiere de un menor gasto energético y de menores presiones, debido a que su capacidad de fluir es más alta a una misma temperatura y presión. El valor del índice de fluidez depende de las propiedades físicas y estructurales del polímero, como son, masa molar, distribución de masa molar y presencia de ramificaciones [19].

Para evaluar el índice de fluidez de un material se debe fundamentar el ensayo bajo la norma ASTM D-1238; el valor se da en la cantidad de material (en gramos) que fluye en 10 minutos, a través de un dado capilar, manteniendo valores de temperatura y presión constantes. El valor de índice de fluidez es indispensable para proceso como moldeo por inyección, extrusión, rotomoldeo, entre otros procesos donde se utilice materiales termoplásticos [20].

Con esta propiedad se puede tener una orientación sobre otras propiedades importantes en un material polimérico, debido a que indica la uniformidad de la tasa de flujo del material en un proceso de transformación, por lo anterior, con el índice de fluidez se pueden obtener medidas indirectas de masa molecular y procesabilidad de termoplásticos [10].

Dado que el índice de fluidez de un polímero no es una propiedad intrínseca sino un parámetro empírico que depende de las propiedades físicas y de la estructura molecular del polímero, en algunos casos sucede que un material virgen fluye de manera más fácil que un material reciclado, es decir, tiene un índice de fluidez mayor. Este comportamiento se debe a que el reciclado tiene una historia de degradación térmica por escisión de cadenas que pueden afectar propiedades como masa molecular, distribución de masa molecular, viscosidad, entre otras mencionadas anteriormente y esto directamente dificulta la capacidad de fluir del material [10].

5. METODOLOGIA

5.1. Revisión bibliográfica.

Durante el transcurso de la práctica empresarial se realizó una búsqueda detallada de información sobre reciclaje de materiales plásticos, economía circular, propiedades y características de la materia prima utilizada en la compañía, así como métodos de separación de mezclas de diferentes polímeros y aprovechamiento de residuos posindustriales, esto con el fin de contar con la suficiente información que permita desarrollar una efectiva investigación y plan de acción ante el problema detectado utilizando criterios de planeación estratégica [19].

5.2. Evaluación de condiciones de entrega de material separado.

Se verificaron las condiciones de separación del material de barreduras tratado en la empresa Separaplas S.A.S. para identificar qué tipo de material se separó apropiadamente. Debido a que el material contenía mezclas de diferentes polímeros, se realizó una separación por flotación tomando muestras aleatorias del material entregado y realizando 3 mediciones, utilizando soluciones de etanol como solvente. Se elaboraron soluciones con rangos de densidades entre 0,92 y 0,93 g/cm³, debido a que algunos de los materiales como el PELBD, el PEAD, el PP-H, el PP-C y el PP random presentan densidades similares y es

necesario separarlos, y además porque el rango de densidades de dichos solventes permite la separación del ABS que es el único material presente en el residuo de barreduras que tiene una densidad relativa superior a la del agua. La identificación de los polímeros separados por flotación se realizó con base en el esquema presentado en la figura 3. La empresa ya realiza este procedimiento de clasificación por flotación cuando requiere identificar materias primas que por algún motivo están sin etiquetar o existe alguna confusión, por lo cual fue conveniente usarlo en esta etapa del proyecto con el material de barredura para completar la separación por flotación.

El material entregado por Separaplas S.A.S. que aun contenía basura, fue entregado como residuo como era acostumbrado a la empresa gestora que anteriormente compraba todo el material excedente de barreduras.

5.3. Evaluación de índice de fluidez másico -MFI.

Se realizaron pruebas de MFI según la norma ASTM D1238 a muestras de material de barredura, para identificar la velocidad de extrusión del polímero fundido y con base en el resultado obtenido se determinó el material más apto para las evaluaciones posteriores.

5.4. Elaboración de probetas para evaluación de propiedades mecánicas y realización de ensayos de tensión y flexión.

Implementando la técnica de moldeo por inyección, se fabricaron probetas para realizar ensayos mecánicos, con material de barredura seleccionado según los resultados obtenidos en las pruebas de MFI. Se llevaron a cabo 5 ensayos de tensión y 5 de flexión, a probetas con las dimensiones concertadas en la norma ASTM D638 para las pruebas de tensión y en la norma ASTM D790 para las pruebas de flexión.

5.5. Realización de pruebas al material de barredura en producto.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la evaluación de propiedades mecánicas y acorde a las características presentadas por el material de barredura, se fabricaron por

Implementación de un procedimiento de moldeo por inyección para el aprovechamiento de materiales termoplásticos de barreduras generados en industrias Estra S.A.

medio de moldeo por inyección, un lote de aproximadamente 20 unidades de la ponchera cuadrada de 12 L, producto perteneciente a la línea de aseo del portafolio de Industrias ESTRA S.A., con el fin de examinar el comportamiento del material durante el proceso de inyección y establecer las condiciones de operación del mismo.

5.6. Evaluación de ensayos de calidad a producto elaborado con material de barredura.

Se realizaron ensayos de calidad a muestras de la ponchera cuadrada de 12 L fabricada con material de barredura, esto conforme a las condiciones de servicio y operación de la ponchera, de acuerdo con las normas establecidas por Industrias ESTRA S.A.

5.7. Posibles aplicaciones

Con la información obtenida y los resultados evidenciados, se planteó un plan de aprovechamiento para dar uso al material reciclado en al menos un producto del portafolio de Industrias Estra S.A.

6. RESULTADOS Y ANALISIS

Se desarrolló una ruta de planeación general para los proyectos pertenecientes al programa Estraeco Renueva.

Como resultado de implementar una posible ruta de aprovechamiento del material de barreduras, utilizando criterios de planeación estratégica, se desarrolló una ficha de planeación general para los proyectos pertenecientes al programa Estraeco Renueva, basada en una metodología de investigación. La ruta de aprovechamiento establecida se puede observar en la figura 4.

Implementación de un procedimiento de moldeo por inyección para el aprovechamiento de materiales termoplásticos de barreduras generados en industrias Estra S.A.

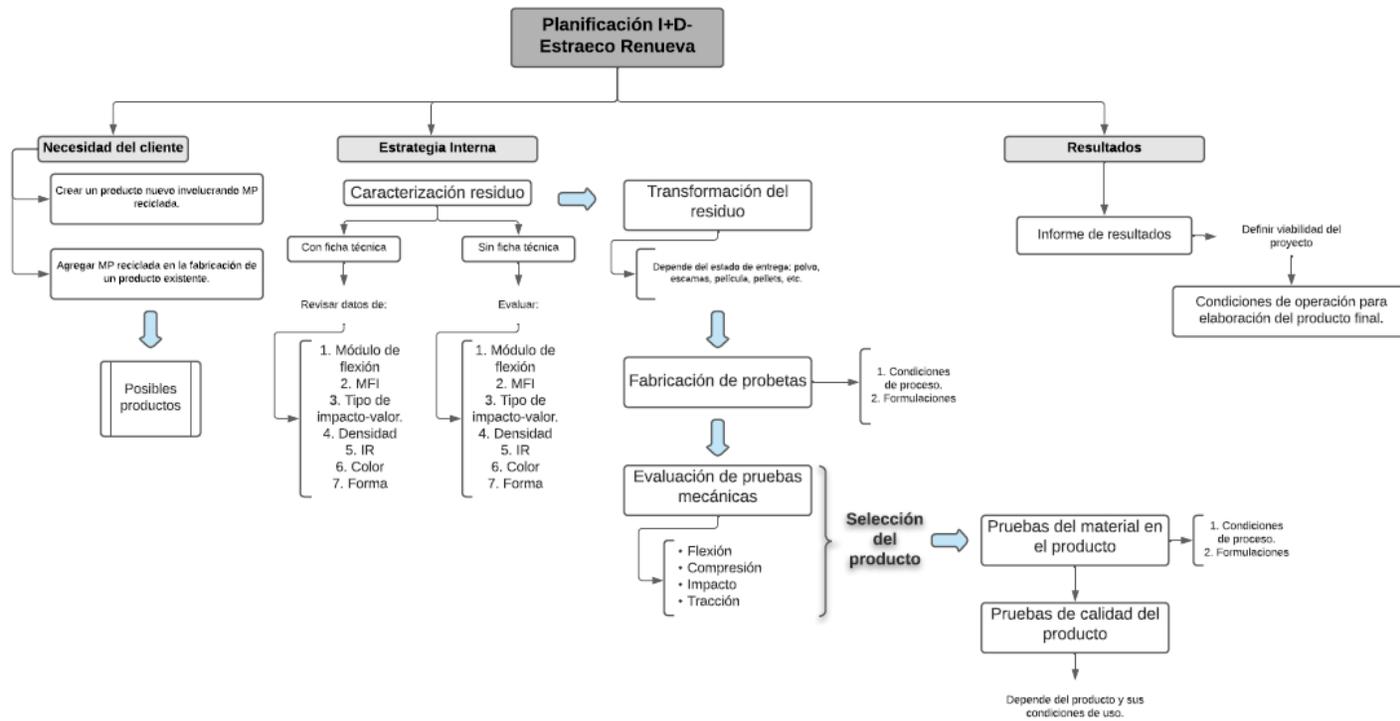


Figura 4. Ruta de aprovechamiento enfocada al programa Estraeco Renueva para materiales reciclados.

Con el propósito de adicionar materia prima reciclada a un producto perteneciente al portafolio de Industrias Estra S.A., el área de I+D+i consideró la posibilidad de desarrollar un proyecto interno direccionado al programa Estraeco Renueva, donde se pudiera aprovechar el material residual de barreduras que era vendido como excedente; por tal motivo, se realizaron una serie de procesos y pruebas para investigar y evaluar la viabilidad del proyecto. Los procedimientos desarrollados se explicarán en los siguientes apartados.

6.1. Evaluación de condiciones de entrega de material separado.

Clasificación del material de barreduras.

El material residual de barreduras fue recolectado en la planta de producción de Industrias Estra S.A. durante 1 mes, tiempo durante el cual se reunió 1 tonelada de residuos. Posterior a esto, el material fue entregado a la empresa Separaplast S.A.S. con el fin de que allí se le realizara una separación, lo anterior basado en el procedimiento presentado en la figura 5.

En la primera etapa se desarrolló un proceso de cernido o tamizado, a fin de remover basuras o cualquier tipo de residuo considerado no deseado. Posterior a esto se llevó a cabo una decantación, con el objeto de retirar componentes de tamaño más pequeño y con una densidad menor a la del material termoplástico que se desea separar; lo anterior, aprovechando que el material de interés quedaría en el fondo y la basura permanecería flotante, permitiendo de esta manera una apropiada separación.

En la fase siguiente se realizó un lavado y secado del material para eliminar suciedad, basuras o impurezas que aun estuvieran presentes; y finalmente se realizó una separación del material termoplástico por colores. Esto se llevó a cabo en una maquina clasificadora por color que por medio de cámaras consigue detectar diferencias en color y decoloraciones superficiales, entre otras características; este tipo de maquinaria es utilizada comúnmente en el sector agroalimentario en productos granulados.

Implementación de un procedimiento de moldeo por inyección para el aprovechamiento de materiales termoplásticos de barreduras generados en industrias Estra S.A.

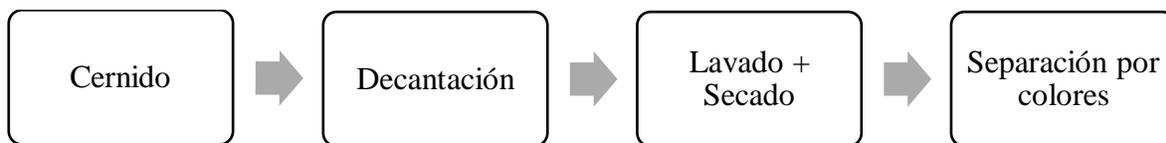


Figura 5. Proceso de separación de material de barreduras.

Del proceso anteriormente mencionado se obtuvieron diferentes tipos de materiales, nombrados: ripio (Figura 6a), barredura sucia (Figura 6b), material contaminado (Figura 6c), material policolor (Figura 6d), y material original (Figura 6e); los cuales se pueden observar en la figura 6.

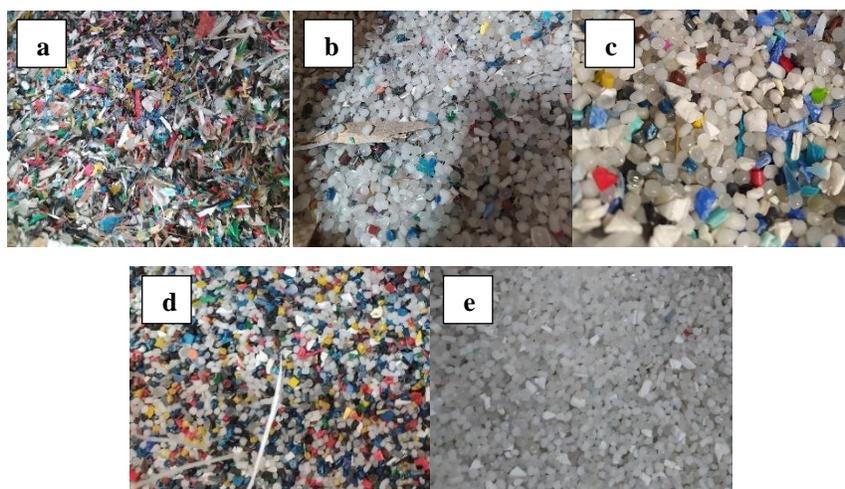


Figura 6. Material separado por la empresa Separaplast S.A.S.; a) Ripio; b) barredura sucia; c) material contaminado; d) material policolor y e) material original.

Debido a que el ripio (Figura 6a), la barredura sucia (Figura 6b) y el material contaminado (Figura 6c), son residuos con basuras que no se lograron separar eficientemente, son considerados no aptos para su reutilización en el proceso de inyección al que está dirigido el presente trabajo. La cantidad separada de cada uno de estos residuos fue de 3,6 Kg, 80 Kg y 68 Kg, respectivamente.

El material policolor y original están libres de impureza, basuras o contaminantes, y fueron considerados aptos para reincorporar a procesos de inyección, por este motivo los ensayos y

pruebas posteriores se les realizaron a estos dos materiales; de estos se obtuvieron 274,6 Kg y 616 Kg, respectivamente.

En la ecuación 1 se muestra cómo se obtiene el porcentaje de rendimiento del proceso de separación.

% Rendimiento

$$= \frac{(Cantidad\ de\ material\ total - Cantidad\ de\ material\ descartado)}{Cantidad\ de\ material\ total} \quad \text{Ecuación 1}$$

* 100%

Basándose en la ecuación 1, el rendimiento del proceso de separación fue de un 85,45%, un valor que fue considerado aceptable por el área de I+D+i para reincorporar el material residual de barreduras al ciclo de producción.

Separación por flotación.

Siguiendo la metodología presentada en la figura 3 se evaluó la cantidad de PP, PE y ABS que contenía el material policolor y original, realizando cada ensayo por triplicado.

Para ello se tomaron porciones aleatorias de cada material y se utilizó un recipiente con 3 L de agua al que se le adicionaron entre 23 y 24 g de material para material policolor y entre 17 y 19 g para material original, esto para separar las porciones de ABS del PP y PE de la muestra. En ninguno de los 3 ensayos realizados fue posible separar material debido a que la totalidad de este permanecía flotante, lo que indica que la cantidad contenida de ABS en los materiales era nula o muy poca.

Posterior a esto se preparó una solución con etanol industrial al 96% de concentración y agua, obteniendo una mezcla homogénea con una densidad entre 0,92 y 0,93 g/cm³, de este modo el material flotante corresponde a PP, con una densidad aproximada entre 0,902 y 0,905 g/cm³ y el material del fondo corresponde a PE, con una densidad aproximada entre 0,93 y 0,96 g/cm³.

En la figura 7 se pueden observar las imágenes de los ensayos de flotación realizados al material residual de barreduras.

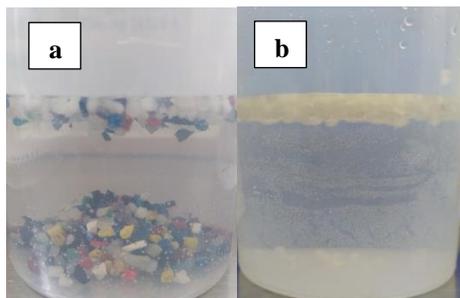


Figura 7. Ensayo de separación por flotación realizado a material de barreduras; a) material policolor; b) material original.

Los resultados obtenidos en el ensayo de separación por flotación para el material policolor se presenta en las siguientes tablas.

Tabla 1. Resultados del ensayo de separación por flotación para el material policolor.

Material policolor			
	Total (g)	Fondo (g)	Flotante (g)
Ensayo 1	23,81	5,60	18,21
Ensayo 2	23,83	6,66	17,17
Ensayo 3	24,41	8,90	15,51
Promedio	24,02	7,05	16,96
Desviación Estándar	0,34	1,68	1,36

De los datos mostrados en la tabla 1, se calculó un porcentaje de PE de 29,4 % y de PP de 70,6 %, presentes en el material policolor.

Implementación de un procedimiento de moldeo por inyección para el aprovechamiento de materiales termoplásticos de barreduras generados en industrias Estra S.A.

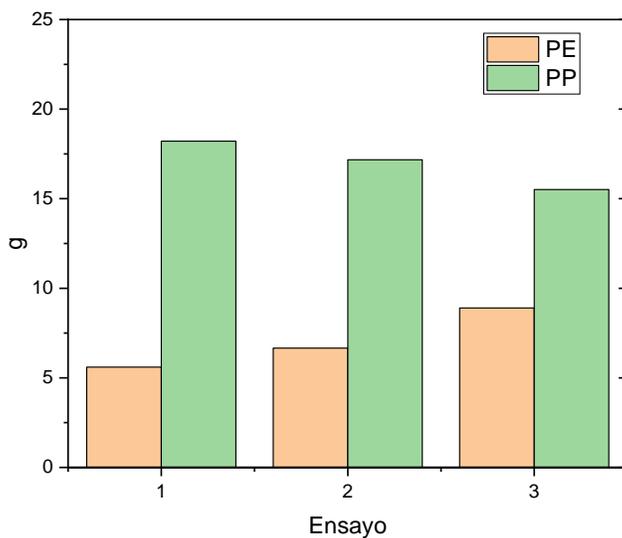


Figura 8. Diagrama de barras con los resultados del ensayo de separación por flotación para material original.

Tabla 2. Resultados del ensayo de separación por flotación para el material original.

Material original			
	Total (g)	Fondo (g)	Flotante (g)
Ensayo 1	19,80	0,30	19,50
Ensayo 2	17,70	3,80	13,90
Ensayo 3	17,00	1,20	15,80
Promedio	18,16	1,76	16,40
Desviación Estándar	1,46	1,82	2,84

De los datos mostrados en la tabla 2, se calculó un porcentaje de PE de 9,7 % y de PP de 90,3%, presentes en el material original.

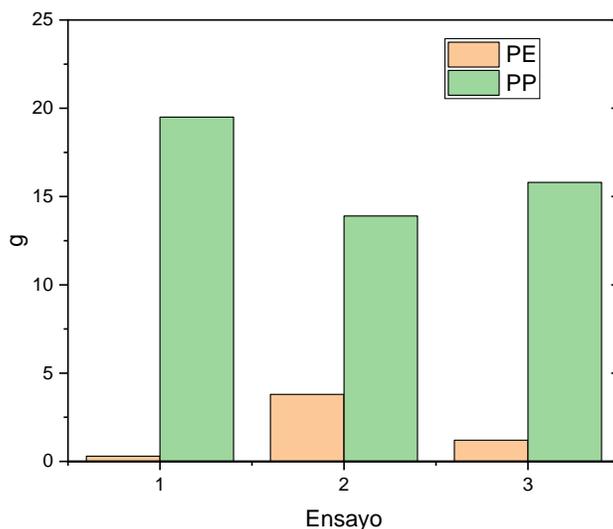


Figura 9. Diagrama de barras con los resultados del ensayo de separación por flotación para material original.

Según los resultados evidenciados, ambos materiales están constituidos por una cantidad mayoritaria de PP, sin embargo, para el material policolor se presenta un porcentaje más alto de PE y por esta razón es necesario orientarlo a una aplicación en donde sea necesario el uso de compatibilizantes, diseñados para mejorar la capacidad de mezcla de resinas diferentes, como el caso del PP y el PE.

La cantidad de PE en el material original es mucho más baja que para el material policolor y por esta razón es considerado apto para reutilizarse en procesos de inyección, direccionados a productos fabricados inicialmente con PP original; por lo anterior, se determinó que los ensayos posteriores a esta etapa se realizarían con el material original de barreduras.

6.2. Evaluación de índice de fluidez másico -MFI.

Con el objeto de evaluar las condiciones de fluidez del material original de barredura, establecer las posibles formulaciones para inyectar probetas y determinar las propiedades mecánicas en tensión y flexión del material, se calculó el índice de fluidez másico (MFI),

Implementación de un procedimiento de moldeo por inyección para el aprovechamiento de materiales termoplásticos de barreduras generados en industrias Estra S.A.

esto último haciendo uso de un plastómetro. Los resultados obtenidos se calcularon con base a la ecuación 2 y se presentan en la tabla 3.

$$MFI (g/10 \text{ min}) = \frac{\text{peso (g)}}{\text{tiempo (s)}} \times 600 \text{ s} \quad \text{Ecuación 2}$$

Condiciones de ensayo:

Carga: 2,16 Kg

Temperatura: 190 °C

Volumen de material de cada muestra: 5 g

Tiempo de corte: 5 s

Los anteriores parámetros fueron establecidos según la norma ASTM D-1238, para PE y PP.

Tabla 3. Resultados de ensayos MFI para material original de barreduras.

	MFI 1 (g/10 min)	MFI 2 (g/10 min)	MFI 3 (g/10 min)
	36	36	36
	24	24	36
	24	36	24
	24	36	36
Promedio	27	33	33
Desviación Estándar	5	5	5

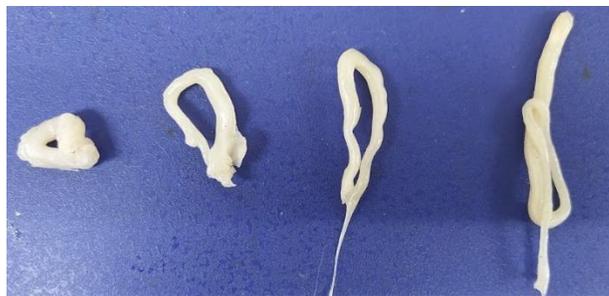


Figura 10. Imágenes de muestra de material fundido en plastómetro.

Según los datos obtenidos, se calculó un valor promedio de MFI de 31 g/10 min para el material original de barreduras, este dato de índice de fluidez es comparable con el del PP copolímero random, que puede presentar valores de MFI entre 35 y 45 g/10 min. El material original de barreduras no se ha sometido a ningún tipo de procesamiento que implique degradación térmica, por este motivo el valor de fluidez evidenciado es apto para ser usado en productos fabricados con materias primas de flujo medio.

6.3. Elaboración de probetas para evaluación de propiedades mecánicas y realización de ensayos de tensión y flexión.

Ensayo de flexión

Se realizaron 5 ensayos de flexión bajo la norma ASTM D790, obteniendo curvas de esfuerzo vs. deformación para cada ensayo y se calcularon propiedades mecánicas en flexión como esfuerzo último y módulo elástico. Los ensayos se realizaron con probetas inyectadas con geometría estipulada bajo la norma ASTM D638, que corresponde a ensayos de tensión, sin embargo, se determinó que esta geometría no interfería con los resultados de los ensayos de flexión, debido a que las probetas contaban con una sección rectangular central, suficiente para evaluar las propiedades a flexión del material, como se muestra en la figura 11 con las líneas rojas demarcadas en la imagen de la probeta.

Implementación de un procedimiento de moldeo por inyección para el aprovechamiento de materiales termoplásticos de barreduras generados en industrias Estra S.A.

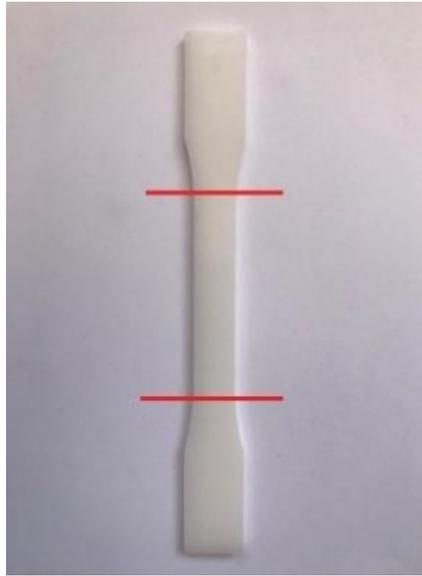


Figura 11. Probeta utilizada para realizar ensayos de flexión.

Las pruebas se realizaron en una máquina universal de ensayos, marca Shimadzu AGX 50 KN con una celda de carga con capacidad de 5 toneladas. Para todas las pruebas, se utilizó un desplazamiento controlado de 1,5 milímetros por minuto y una deformación unitaria igual a 0,05, parámetros que fueron determinados según lo establecido por la norma ASTM D790. En la figura 12 se observa una probeta de material original de barredura y un ensayo de flexión en proceso.

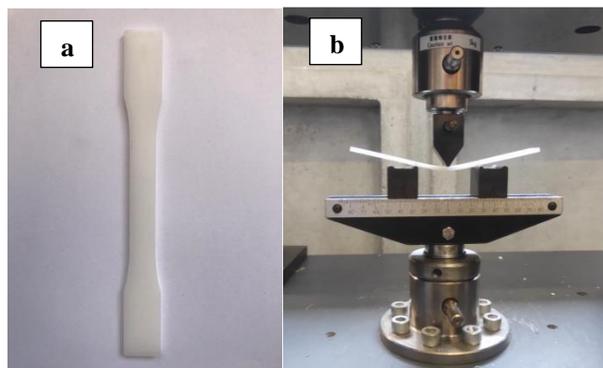


Figura 12. Probeta y ensayo de flexión. a) Probeta de material original de barredura; b) ensayo de flexión en proceso para una muestra de material original.

Según lo evidenciado en la tabla 4 y la figura 13, el valor promedio de módulo elástico del material original de barredura es de $698,56 \pm 38,92$ MPa, sin embargo difiere al reportado teóricamente para el PP, el cual se encuentra alrededor de 850 MPa [21]. Si bien el material original de barredura contiene una alta concentración de PP en la mezcla y esto implica que el comportamiento este influenciado por el PP, la presencia de PE reduce el valor de módulo elástico.

Tabla 4. Módulo elástico hallado para las probetas analizadas en los ensayos de flexión.

Barredura	Módulo Elástico (MPa)
Probeta 1	714.71
Probeta 2	664.94
Probeta 3	680.46
Probeta 4	671.68
Probeta 5	761.01
Promedio	698.56
Desviación Estándar	38.92

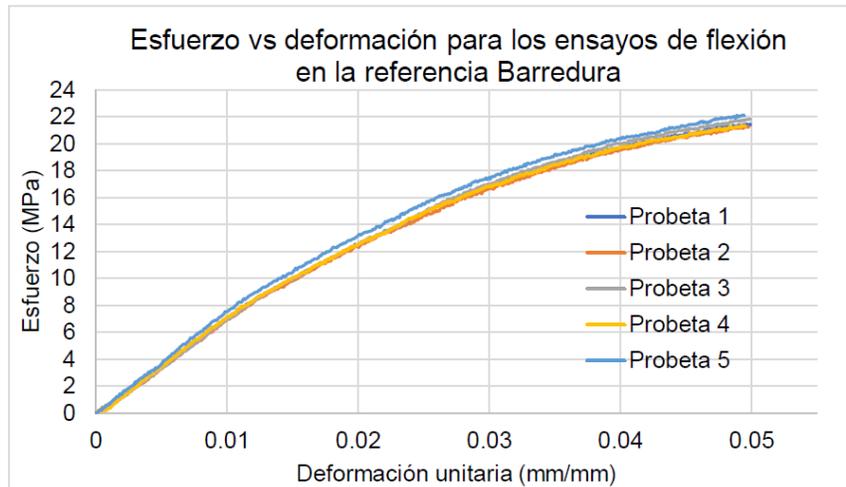


Figura 13. Curva esfuerzo vs. deformación, para los 5 ensayos de flexión que se realizaron a probetas de material original de barreduras.

Ensayo de tensión

Se realizaron 5 ensayos de tensión bajo la norma ASTM D638, obteniendo curvas de esfuerzo vs. deformación para cada ensayo y se calcularon propiedades mecánicas en

Implementación de un procedimiento de moldeo por inyección para el aprovechamiento de materiales termoplásticos de barreduras generados en industrias Estra S.A.

tensión como módulo elástico, límite elástico, resistencia a la tensión y la deformación a la rotura.

Los ensayos se realizaron con probetas inyectadas con geometría estipulada bajo la norma ASTM D638, que corresponde a ensayos de tensión.

Se utilizó una máquina universal de doble columna de marca Shimadzu AGX 50KN con capacidad de carga de 5 toneladas. La velocidad de desplazamiento de mordazas utilizada fue de 50 milímetros por minuto y se llevaron las probetas hasta su rotura. En la figura 14 se observa una probeta de material original de barredura y un ensayo de tensión en proceso.

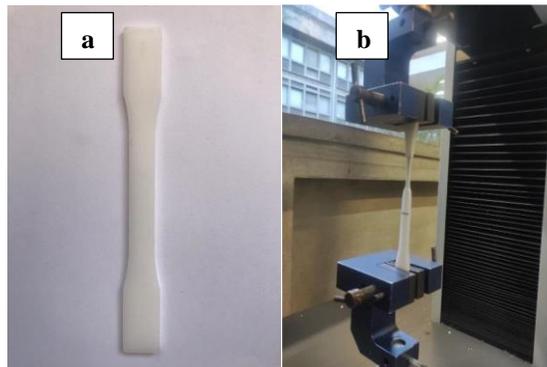


Figura 14. Probeta y ensayo de tensión. a) Probeta de material original de barredura; b) ensayo de tensión en proceso para una muestra de material original.

La curva esfuerzo vs. deformación se muestra en la figura 15; este gráfico es característico de un polímero flexible con una alta resistencia a la tensión; según lo reportado en la tabla 5, el valor promedio de resistencia a la tensión calculado para las probetas analizadas en los ensayos es de 20.34 MPa, sin embargo el valor reportado teóricamente para el PP es de 25 MPa [9], estas diferencias pueden ser debidas a la presencia de PE en el material original de barredura, que al tener un menor grado de cristalinidad reduce la resistencia a la tensión del material estudiado.

Tabla 5. Resistencia a la tensión hallada para las probetas analizadas en los ensayos de tensión.

Barredura	Resistencia a la tensión (MPa)
Probeta 1	20,41
Probeta 2	20,47
Probeta 3	19,84
Probeta 4	20,53
Probeta 5	20,43
Promedio	20,34
Desviación Estándar	0,28

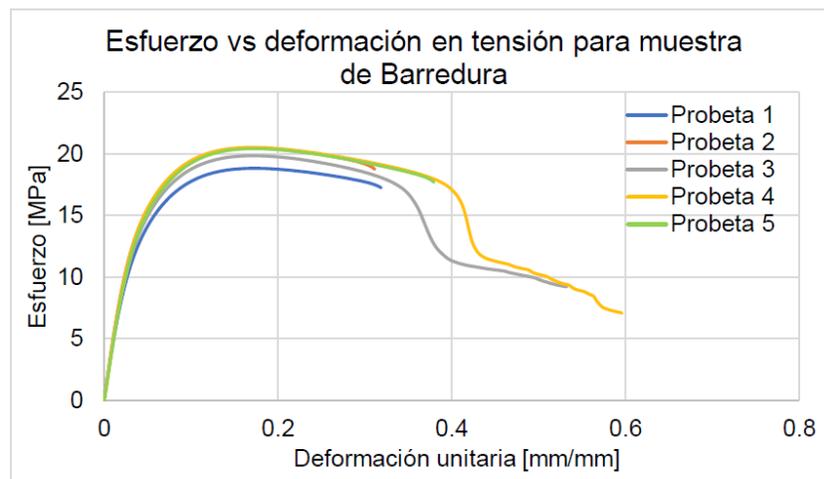


Figura 15. Curva esfuerzo vs. deformación, para los 5 ensayos de tensión que se realizaron a probetas de material original de barreduras.

6.4. Realización de pruebas del material de barredura en producto

Con la información obtenida y los resultados evidenciados anteriormente, se planteó inyectar un producto direccionado a la línea de aseo. Algunos de estos productos son elaborados con PP copolímero random y presentan propiedades similares a las evaluadas en el material original de barredura, como flujo medio y valores de resistencia a la tensión y módulo elástico.

Implementación de un procedimiento de moldeo por inyección para el aprovechamiento de materiales termoplásticos de barreduras generados en industrias Estra S.A.

La elección de iniciar pruebas enfocadas a productos de aseo provino de requerimientos comerciales, esto debido a que empresas dedicadas a la misma línea de producción de Industrias Estra S.A. elaboran estos productos en materia prima reciclada y a valores comerciales mucho más bajos que los ofrecidos por esta última.

Por lo anterior, se decidió iniciar ensayos con la ponchera cuadrada de 12 L; en la figura 16 se pueden observar los productos fabricados.



Figura 16. Ponchera cuadrada de 12 L, inyectada con material original de barredura; a. Azul. b. Gris.

Los parámetros de inyección utilizados en el procesamiento de las poncheras se presentan en la tabla 4.

Tabla 6. Ficha técnica de condiciones de proceso para ponchera cuadrada 12 L con material original de barredura.

Cavidades	1
Tiempo de ciclo (s)	32,4
Peso (Kg)	0,456
Control de disparo	
Descompresión trasera (g)	6,5
Descompresión delantera (g)	0
Cojín (g)	9,5
Tamaño de disparo (g)	125
Temperaturas	
Rango +/-	10
Boquilla (°C)	205-210
Zona 1 (°C)	215-218
Zona 2 (°C)	224-226

Implementación de un procedimiento de moldeo por inyección para el aprovechamiento de materiales termoplásticos de barreduras generados en industrias Estra S.A.

Zona 3 (°C)	224
Zona 4 (°C)	220
Zona 5 (°C)	220
Dosificación	
Contra presión (bar)	8
Presión de carga (bar)	72,3
Tiempo de carga (s)	10,18
Velocidad de carga (mm/s)	125-150
Velocidad de inyección	
Perfil 1 (mm/s)	72
Perfil 2 (mm/s)	40

Durante el procesamiento de las poncheras no se presentó ningún inconveniente relacionado al llenado del molde, contracciones del material ni de ningún otro tipo. Sin embargo, algunos de los productos inyectados presentaron pequeños defectos visuales como los mostrados en la figura 17, resaltando que estos defectos no interfieren con la funcionalidad del producto y por lo tanto son defectos aceptables para la comercialización.

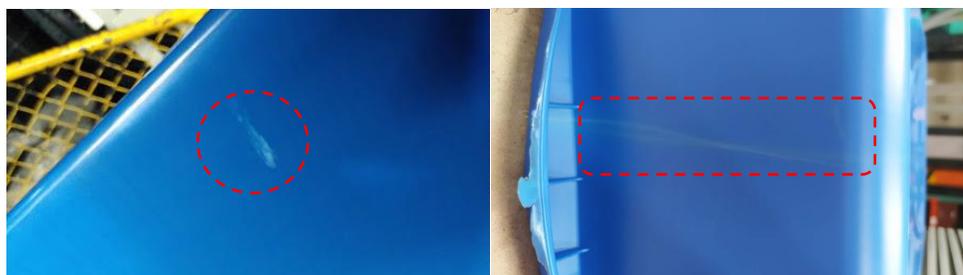


Figura 17. Defectos presentados en poncheras inyectadas con material original de barreduras.

6.5. Evaluación de ensayos de calidad a producto elaborado con material de barredura.

Las pruebas requeridas para evaluar la calidad de la ponchera fabricada consistieron en determinar la resistencia al peso, caída libre con carga, caída libre sin carga, y prueba de impacto.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para cada una de estas pruebas y las especificaciones de las mismas.

Resistencia al peso

Durante este ensayo se tomó el cuerpo de una ponchera cuadrada de 12 L sin carga, y se suspendió desde la zona de las manijas sobre unos soportes metálicos. Se tomó la medida inicial desde el fondo externo de la ponchera hasta el piso y luego se adicionó una cantidad de 12 L de agua, correspondiente a la carga máxima teórica soportada por la ponchera; este montaje se mantuvo por un lapso de 24 horas y finalmente se tomaron nuevamente las medidas desde el fondo externo de la ponchera hasta el piso y se verificó que no hubiera sufrido cambios que comprometieran la funcionalidad del producto. Ver figura 18.



Figura 18. Imagen del ensayo de resistencia al peso.

Los resultados obtenidos del ensayo se muestran en la siguiente tabla 5. No se evidenció ningún daño que comprometiera la funcionalidad de la ponchera cuadrada de 12 L.

Tabla 7. Resultados de ensayo de resistencia al peso para ponchera cuadrada de 12 L.

Medida inicial (mm)	705,00
Medida final (mm)	680,00
Diferencia (mm)	25,00

Caída libre sin carga.

Se tomaron varios cuerpos de ponchera y se dejaron caer desde una altura de 1 metro, aumentando la altura de la caída 0.5 metros hasta alcanzar una distancia final de 3 metros. Ver figura 19.

Implementación de un procedimiento de moldeo por inyección para el aprovechamiento de materiales termoplásticos de barreduras generados en industrias Estra S.A.



Figura 19. Imagen del ensayo de caída libre sin carga con una distancia de 1 metro.

Los resultados del ensayo demostraron que ninguna de las poncheras estudiadas sufrió cambios que comprometieran la funcionalidad del producto.

Caída libre con carga

Se tomaron varios cuerpos de ponchera y se dejaron caer desde una altura de 0.7 metros con una carga de 6 Kg, aumentando la altura de la caída 0.5 metros hasta alcanzar una distancia final de 3.70 metros. Ver figura 20.



Figura 20. Imagen del ensayo de caída libre con carga con una distancia de 1.20 metro.

Implementación de un procedimiento de moldeo por inyección para el aprovechamiento de materiales termoplásticos de barreduras generados en industrias Estra S.A.

Los resultados del ensayo demostraron que ninguna de las poncheras estudiadas sufrió cambios que comprometieran la funcionalidad del producto.

Prueba de impacto.

Se tomó un cuerpo de ponchera y se realizó el ensayo con un dardo impactador desde una altura de 0.5 metros, en los puntos señalados en la figura 21, aumentando la distancia 0.2 metros hasta una distancia final de 1.50 metros.



Figura 21. Puntos de impacto para realización de prueba de resistencia al impacto.

Los resultados y parámetros utilizados en el ensayo se muestran en la tabla 6.

Tabla 8. Datos del ensayo de impacto a ponchera cuadrada de 12 L.

Masa dardo (Kg)	Altura (m)	Joules (N*m)	Resultado
1	0,50	4,90	OK
	0,70	6,86	OK
	0,90	8,82	OK
	1,10	10,78	OK
	1,30	12,74	OK
	1,50	14,70	OK

No se observan daños en ninguna de las pruebas que puedan llegar a comprometer la funcionalidad de la ponchera.

6.6. Posibles aplicaciones

Los resultados obtenidos en el transcurso del proyecto demuestran que la reincorporación del material original de barredura al proceso de producción de Industrias Estra S.A. es viable y alineado con las políticas ambientales implementadas en la empresa.

Con este material se presenta una amplia posibilidad de estudio de productos, que presenten características de fluidez y propiedades mecánicas similares a las mostradas para el material original de barredura, además de permitir que los productos fabricados presenten defectos de apariencia usualmente evidenciados en artículos elaborados en materiales poliméricos reciclados; se podría direccionar el trabajo a futuro en línea de aseo como baldes y poncheras, entre otros.

El material policolor de barredura presenta un reto referente a la procesabilidad, debido a la presencia de altas cantidades de PE en la mezcla, por este motivo se realizará en proyectos futuros una investigación más a fondo sobre este material y sus posibles aplicaciones, utilizando métodos de separación de polímeros o algún tipo de aditivo compatibilizante que facilite la mezcla y procesabilidad del material.

7. CONCLUSIONES

Fue posible implementar una ruta de aprovechamiento para el material residual de barreduras, utilizando procedimientos técnicos, apoyándose en los criterios de economía circular, mercadeo y de investigación de propiedades y características de materiales termoplásticos utilizados en Industrias Estra S.A.

Los resultados de los ensayos de tensión y flexión demuestran que las características y propiedades mecánicas presentadas por el material original de barreduras son cercanos a los referenciados para el PP, teniendo en cuenta que la presencia de PE en el material modifica la resistencia a la flexión, tensión y módulo elástico.

La propuesta de fabricar la ponchera cuadrada de 12 L en material original de barredura fue aprobada por el área de investigación, desarrollo e innovación, diseño de producto y

Implementación de un procedimiento de moldeo por inyección para el aprovechamiento de materiales termoplásticos de barreduras generados en industrias Estra S.A.

mercadeo, debido a su alta potencialidad de competir en el mercado con referencias de la línea de aseo elaboradas con material reciclado. Además, se planteó la posibilidad de fabricar otras referencias en el mismo material puesto que existen productos con propiedades similares dentro del portafolio de Industrias Estra S.A.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] F. Roberto, D. Bravo, and M. Rivera, “Economía circular : un camino hacia un Quito más sostenible,” *INNOVA Res. J.*, vol. 3, no. 11, pp. 139–158, 2018.
- [2] J. Kirchherr, D. Reike, and M. Hekkert, “Conceptualizando la economía circular: un análisis de 114 definiciones,” *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 127, no. April, pp. 221–232, 2017, doi: 10.1016/j.resconrec.2017.09.005.
- [3] M. Geissdoerfer, M. P. P. Pieroni, D. C. A. Pigosso, and K. Soufani, “Circular business models: A review,” *J. Clean. Prod.*, vol. 277, p. 123741, 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.123741.
- [4] Plastics Europe, “Plásticos – Situación en 2019,” 2019.
- [5] C. J. Perilla Tabares, “Estudio de alternativa al proceso de reciclaje del plástico PET en la universidad católica de Colombia.,” 2017.
- [6] R. Mendoza, E. Niebles, C. Barreto, J. Fabregas, and E. Buelvas, “Análisis de la cadena de valor del reciclaje de plástico . Un caso de estudio en el departamento del Atlántico (Colombia),” vol. 41, no. 25, pp. 171–183, 2020.
- [7] C. A. Harper and E. M. Petrie, *Manual: Fuentes de especificaciones y estándares para plásticos y compuestos.* 2003.
- [8] J. W. Gooch, *Encyclopedic Dictionary of Polymers*, no. 1. 2011.
- [9] J. López, R. Balart, L. Sánchez, and A. Nadal, “Estudio del comportamiento de los materiales termoplásticos reciclados en moldeo por inyección.,” *VIII Congr. Nac. Propiedades Mecánicas Sólidos, Gandia 2002*, pp. 147–154, 2010.
- [10] T. Boronat, “Estudio y modelización de la procesabilidad mediante moldeo por inyección de materiales termoplásticos reciclados.,” 2011.
- [11] S. Huysman, J. De Schaepmeester, K. Ragaert, J. Dewulf, and S. De Meester, “Indicadores de rendimiento para una economía circular: un estudio de caso sobre residuos plásticos postindustriales,” *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 120, pp. 46–54, 2017, doi: 10.1016/j.resconrec.2017.01.013.
- [12] M. Gall, G. Steinbichler, and W. L. Reinhold, “Aprendizaje sobre el diseño a partir del reciclaje mediante el uso de polipropileno posconsumo como capa central en un

- producto de estructura tipo sándwich moldeado por co-inyección,” *Toxicol. Vit.*, p. 104947, 2020, doi: 10.1016/j.matdes.2021.109576.
- [13] M. A. Kreiger, M. L. Mulder, A. G. Glover, and J. M. Pearce, “Análisis del ciclo de vida del reciclaje distribuido de polietileno de alta densidad posconsumo para filamento de impresión 3-D”, *J. Clean. Prod.*, vol. 70, pp. 90–96, 2014, doi: 10.1016/j.jclepro.2014.02.009.
- [14] EQUIPLAST, “Las 9 preguntas* clave sobre el reciclaje químico,” 2021. [Online]. Available: <http://www.equiplast.com/chemical-news-detail/-/noticias/detalle/13735530/noticia-9-preguntas-sobre-el-reciclaje-quimico>.
- [15] G. Faraca and T. Astrup, “Residuos plásticos de centros de reciclaje: Caracterización y evaluación de la reciclabilidad del plástico,” *Waste Manag.*, vol. 95, pp. 388–398, 2019, doi: 10.1016/j.wasman.2019.06.038.
- [16] K. Ragaert, S. Hubo, L. Delva, L. Veelaert, and E. Du Bois, “Reciclado de residuos de polipropileno postindustrial contaminados: un diseño a partir de un estudio de caso de reciclaje”, *Polym. Eng. Sci.*, vol. 58, no. 4, pp. 528–534, 2018, doi: 10.1002/pen.24764.
- [17] M. A. Cáceres, M. Sánchez Soto, M. L. Maspocho, M. Sánchez Hernández, and A. Sánchez Rojo, “Desarrollo de un proceso de reciclaje para la fracción mixta de residuos de plástico, provenientes de plantas de separación selectiva.,” *II Congr. UPC Sosten. 2015*, no. July 2015, pp. 1–10, 2015.
- [18] D. S. Uscamayta Verástegui, “Recuperación de PVC y PET a partir de residuos plásticos mixtos mediante flotación a nivel de laboratorio en el Distrito de Chilca,” Universidad Nacional del Centro de Perú, 2017.
- [19] E. R. Pereira, L. D. P. Fajardo, C. Linck, A. L. Alves, and R. M. Campomanes, “Estudio de las alteraciones en el índice de fluidez en muestras de PEAD reciclado de residuos plásticos inyectados, sometidas a envejecimiento natural,” 2016.
- [20] D. E. Pol *et al.*, “Reutilización de polímeros reciclados en la fabricación de elementos estructurales.,” 2013.
- [21] C. Caicedo Cano, L. M. Crespo Delgado, H. de la Cruz Rodríguez, and N. Á. Álvarez Jaramillo, “Propiedades termo-mecánicas del Polipropileno: Efectos durante el reprocesamiento,” *Ing. Investig. y Tecnol.*, vol. 18, no. 3, pp. 345–352, 2017, doi: 10.22201/fi.25940732e.2017.18n3.022.

Implementación de un procedimiento de moldeo por inyección para el aprovechamiento de materiales termoplásticos de barreduras generados en industrias Estra S.A.