

**EVALUACIÓN DE LA INCORPORACIÓN DE MATERIAL RECICLADO EKO PE,
MEDIANTE LA REALIZACIÓN DE PRUEBAS EXPERIMENTALES AL PROCESO DE
INYECCIÓN DE HUACALES EN LA EMPRESA IBERPLAST S.A.S**

LAURA YISETH GÓMEZ SALAMANCA

Proyecto integral de grado para optar por el título de
INGENIERO QUÍMICO

Director

Jenny Marcela Lizarazo Castellanos

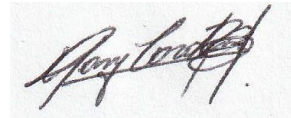
Química, Magister en Diseño y Gestión de Procesos

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ
2021


Nota de aceptación:



Nombre: Jenny Marcela Lizarazo
Firma del Director



Nombre: Dany José Cárdenas Romay
Firma Docente Jurado 1



Nombre: Orlando Castiblanco
Firma Docente Jurado 2

Bogotá D.C., febrero de 2021

DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente Institucional y Rector del Claustro

Dr. MARIO POSADA GARCÍA-PEÑA

Consejero Institucional

Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Dra. MARÍA CLAUDIA APONTE GONZÁLEZ

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. RICARDO ALFONSO PEÑARANDA CASTRO

Secretaria General

Dra. ALEXANDRA MEJÍA GUZMÁN

Decano General de la Facultad de Ingenierías

Ing. JULIO CÉSAR FUENTES ARISMENDI

Director del Programa de Ingeniería Química

Ing. NUBIA LILIANA BECERRA OSPINA

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mi madre Elvira, por ser la persona más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional, quien con sus consejos ha sabido guiarme para culminar mi carrera profesional. A mi padre Álvaro, por estar siempre presente, acompañándome y por el apoyo moral que me ha brindado a lo largo de esta etapa de mi vida. A mi hermano Camilo por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias. Ustedes son mis pilares de la vida, les dedico este trabajo de titulación. Gracias mamita Elvira y papito Álvaro. Finalmente dedico este trabajo de grado a todas las personas que se han involucrado en mi vida porque me han brindado su apoyo incondicional y por compartir conmigo buenos y malos momentos.

Con todo mi amor Laura Yiseth Gómez Salamanca

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida.

Asimismo, a la empresa IBERPLAST S.A.S, gerente, jefes, colegas y colaboradores por darme su apoyo, consejos, brindarme el tiempo y la oportunidad de sacar adelante este proyecto de grado.

A mi directora Jenny Marcela Lizarazo Castellanos quien desde el primer momento confió en mí me brindó su amistad y todo su conocimiento, y que no existen palabras en el mundo que se acerquen a lo agradecida que estoy por guiarme y corregir de manera clara y continua en este proceso, por brindarme todo el apoyo en las pruebas que se realizaron y los materiales que se necesitaron durante el proyecto.

A los Docentes De Comité De Proyectos, por su valiosa guía y asesoramiento a la realización de la misma.

Finalmente quiero agradecer infinitamente a mi familia, quienes con sus demostraciones de amor y cariño me han enseñado a no desfallecer ni rendirme ante nada y siempre perseverar a través de sus sabios consejos y que son mi mayor inspiración, que, a través de su amor, paciencia, buenos valores, ayudan a trazar mi camino. Gracias a mi compañero de vida por soportar conmigo todos los obstáculos presentados en este proyecto, brindarme su amor incondicional, paciencia y siempre apoyarme para no desfallecer.

Gracias a todas las personas que ayudaron directa e indirectamente en la realización de este proyecto.

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a la autora.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	13
INTRODUCCIÓN	14
OBJETIVOS	15
1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	16
1.1 Misión de la empresa	16
1.2 Visión de la empresa	16
1.3 Localización de la empresa	17
1.4 Descripción del problema	17
2. GENERALIDADES	19
2.1.1 <i>Polietileno</i>	19
2.1.2 <i>Polietileno de alta densidad</i>	19
2.1.3 <i>Polietileno de baja densidad</i>	20
2.1.4 <i>Polietileno lineal de baja densidad</i>	20
2.1.5 <i>Propiedades fisicoquímicas y mecánicas</i>	20
2.1.6 <i>Ciclo de vida de tapa plástica y etiqueta</i>	21
2.1.7 <i>Ecodiseño</i>	23
2.1.8 <i>Eco innovación</i>	24
2.1.9 <i>Reciclaje de plásticos</i>	25
2.1.10 <i>Reciclaje mecánico</i>	27
3. PROPIEDADES FISICOQUIMICAS Y MECÁNICAS DEL POLIETILENO RECICLADO	31
3.1 Densidad del polietileno reciclado	31
3.2 Índice de fluidez del polietileno reciclado	31
3.3 Apariencia visual del polietileno reciclado	32
3.4 Resistencia al impacto del polietileno reciclado	32
3.5 Elaboración de resumen de resultados	33
4. ESTABLECIMIENTO DEL PORCENTAJE DE POLIETILENO RECICLADO QUE CUMPLA CON LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL PRODUCTO	34

4.1	Desarrollo experimental	34
4.2	Inyección de caja plástica con dosificación del polietileno reciclado al 10% y 15%	36
4.2.1	<i>Procedimiento de inyección</i>	37
4.3	Norma de inspección y control 11011	38
4.4	Determinación de las propiedades fisicoquímicas del polietileno reciclado	39
4.4.1	<i>Medición de índice de fluidez</i>	40
4.4.2	<i>Medición de densidad</i>	43
4.4.3	<i>Equipo empleado para mediciones fisicoquímicas</i>	44
4.5	Determinación de las propiedades mecánicas del polietileno reciclado	45
4.5.1	<i>Ensayo de estabilidad de peso</i>	45
4.5.2	<i>Medición dimensional</i>	50
4.5.3	<i>Prueba de compresión rápida</i>	51
4.5.4	<i>Prueba de carga vertical</i>	52
4.5.5	<i>Prueba de caída libre</i>	55
4.5.6	<i>Prueba de impacto en plano inclinado</i>	55
4.5.7	<i>Equipos empleados para mediciones mecánicas</i>	56
5.	ANÁLISIS DE COSTOS DE PRODUCCIÓN DE LA INCORPORACIÓN DEL MATERIAL EKO PE EN EL PROCESO DE INYECCIÓN DE HUACAL	58
5.1	Costos indirectos de fabricación	58
5.1.1	<i>Cálculo del CIF</i>	59
5.2	Costo de huacal con dosificación actual	59
5.3	Costo de huacal con dosificación al 15% de material EKO PE	61
5.4	Costo de huacal con dosificación al 10% de material EKO PE	63
5.5	Comparación de costos actual/propuesta	65
	BIBLIOGRAFÍA	67
	ANEXOS	72

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Propiedades fisicoquímicas y mecánicas de los tipos de PE	20
Tabla 2. Propiedades Fisicoquímicas y mecánicas del material EKO PE brindadas por la empresa Enka	33
Tabla 3. Clasificación de defectos	39
Tabla 4. Condiciones de funcionamiento del indexador	40
Tabla 5. Resultados De Índice De Fluidez	41
Tabla 6. Resultados De Densidad	43
Tabla 7. Equipo De Mediciones Fisicoquímicas (Índice de fluidez y densidad)	44
Tabla 8. Resultados De Estabilidad De Peso	46
Tabla 9. Resultados De Pruebas Dimensionales Material EKO PE al 10%	50
Tabla 10. Resultados De Pruebas Dimensionales Material EKO PE al 15%	51
Tabla 11. Resultados De Pruebas De Comprensión Rápida	52
Tabla 12. Resultados De Pruebas De Carga Vertical	53
Tabla 13. Resultados De Pruebas De Caída Libre	55
Tabla 14. Resultados De Prueba de Impacto En Plano Inclinado	56
Tabla 15. Equipos De Mediciones Mecánicas	57
Tabla 16. Cálculo del CIF	59
Tabla 17. Análisis de costos actuales	60
Tabla 18. Análisis de costos con dosificación al 15%	62
Tabla 19. Análisis de costos con dosificación al 10%	64
Tabla 20. Análisis de costos finales	65

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Localización de la Empresa	17
Figura 2. Modelo De Economía Circular	22
Figura 3. Beneficios del Ecodiseño	24
Figura 4. Recuperación De Botellas PET	25
Figura 5. Resinas Transformadas Por Diferentes Industrias	26
Figura 6. Cantidad de material transformado en toneladas mensuales	27
Figura 7. Proceso de reciclado de la empresa ENKA	29
Figura 8. Material EKO PE	32
Figura 9. Desarrollo experimental	35
Figura 10. Inyectora Krauss Maffei	36
Figura 11. Procedimiento de inyección	37
Figura 12. Indexador de fusión Dynisco® LMI4000	41
Figura 13. Medición De Índice De Fluidéz	42
Figura 14. Desviación Estándar - EKO PE al 15%	48
Figura 15. Desviación Estándar - EKO PE al 10%	49
Figura 16. Prueba de Carga Vertical - Medición de alturas	53
Figura 17. Medición De Pruebas De Carga Vertical	54
Figura 18. Ficha técnica del polietileno de alta densidad	72

LISTA DE ABREVIACIONES

EKO PE	Polietileno reciclado
PEAD	Polietileno de alta densidad
PE	Polietileno
PEBD	Polietileno de baja densidad
PELBD	Polietileno lineal de baja densidad
PET	Tereftalato de Polietileno

GLOSARIO

Huacal: Caja plástica fabricada con polietileno de alta densidad (PEAD) por el método de inyección. Utilizado para embalar, almacenar y transportar botellones de 20L para bebidas no carbonatadas.

Receta: Procedimiento para la elaboración de huacal que tiene una lista detallada de todos los protocolos para desarrollar o llevar a cabo una línea de producción, la cual contempla cantidades exactas y procedimientos que se deben llevar a cabo.

Granulo: Industrialmente los plásticos se presentan en forma de gránulos (bolitas de plástico), en polvo o en resinas

Encarrado: Consiste en ordenar y encajar las cajas plásticas con el fin apilarlas.

Paletización: Es el proceso de compresión de un material en forma de un granulo o “pellet”, para así facilitar y mejorar su procesamiento o moldeo final que derivará en nuevos productos plásticos [1].

Masterbatch: Conocido como máster o colorante, es una mezcla concentrada de pigmentos o aditivos dispersados dentro de una resina portadora que se presenta en forma de granza. Esta dispersión de pigmento se realiza mediante finísimas partículas incorporadas a un soporte plástico compatible con la resina a colorear [2].

RESUMEN

Actualmente los huacales de la empresa Iberplast S.A.S se elaboran a partir de molido de cajas postindustria y postconsumo con una dosificación del 50% de PEAD y materia prima virgen con un 50% de PEAD, sin embargo, estas materias primas presentan efectos nocivos para el medio ambiente y la salud humana.

Para esto se realizó una búsqueda bibliográfica para identificar las propiedades fisicoquímicas y mecánicas del material EKO PE, seguidamente se realizó el proceso de inyección con u al 10% y 15% con el material EKO PE y por último se realizó una estimación de costos de elaboración del huacal para el envase de bebidas no carbonatadas.

En conclusión, es posible reemplazar a las dosificaciones del 10% y 15% de material EKO PE la materia prima virgen que se utiliza actualmente, dicho material se empleará en el proceso de inyección de huacales para el botellón de agua en la mencionada empresa, el cual es un material postconsumo que posee propiedades fisicoquímicas y mecánicas similares al de la materia prima virgen.

Palabras clave: Material EKO PE, Polietileno, Inyección, PEAD.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación se refiere a la evaluación de la incorporación de material reciclado EKO PE, mediante la realización de pruebas experimentales al proceso de inyección de huacales en la empresa Iberplast S.A.S. La innovación y el medio ambiente hoy en día son conceptos que se han ido familiarizando más con la comunidad a nivel mundial, estos conceptos se han generado debido a la contaminación que se ha incrementado en los últimos años. Un ejemplo, es Colombia, en donde se estima que una persona utiliza 24 kilos de plástico al año, en productos como cubiertos, tapas, envases, entre otros [3]. Este impacto ambiental produjo que el gobierno empezará a tomar medidas frente al asunto pues se dice que podríamos estar enfrentados a un “*tsunami*” ambiental por cuenta de la contaminación que hay en ríos, mares, manglares [3].

Uno de los principales afectados por dicha contaminación son las especies marinas, entre las cuales están tortugas, ballenas, delfines. También se han visto involucradas en dicha contaminación las comunidades que viven cerca a los mares y ríos ya que no solo es el mal olor que estas les producen sino también las enfermedades que vienen con dicha contaminación [3].

Como alternativa al mencionado problema se busca la incorporación de materias primas recicladas en los procesos que se llevan a cabo en la empresa Iberplast S.A.S., actualmente Iberplast S.A.S. ha incorporado a diferentes dosificaciones botellas recicladas de PET postconsumo y postindustria, también busca la incorporación de polietileno reciclado EKO PE en la fabricación de huacales de botellón de agua, la empresa está comprometida con la búsqueda de productos y procesos amigables con la preservación del medio ambiente, que suplan las necesidades de la sociedad.

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar la incorporación de material reciclado EKO PE, mediante la realización de pruebas experimentales al proceso de inyección de huacales en la empresa Iberplast S.A.S.

Objetivos específicos

- Determinar las propiedades fisicoquímicas y mecánicas del material EKO PE mediante una revisión bibliográfica.
- Establecer el porcentaje de material EKO PE que cumpla con las especificaciones técnicas del producto.
- Realizar un análisis de costos de producción de la incorporación del material EKO PE en el proceso de inyección de huacal.

1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

Iberplast es una compañía de talla mundial con más de 25 años de experiencia en la categoría de preformas y tapas metálicas, brindando productos para sectores tales como licores, bebidas, alimentos, farmacéuticos, aseo y cosméticos.

Actualmente la empresa Iberplast S.A.S cuenta con una línea de producción para la fabricación de cajas plásticas, huacales, en donde el 50% corresponde al molido de cajas postindustria y postconsumo de PEAD y el otro 50% corresponde a materia prima virgen de PEAD.

1.1 Misión de la empresa

En Iberplast S.A. mediante la utilización eficiente de un excelente talento humano que está en permanente formación, de los recursos físicos disponibles y de la más avanzada tecnología en sus equipos, trabajamos para producir y comercializar envases y empaques elaborados con resinas plásticas, acero cromado o aluminio, y la prestación de servicios de impresión en lámina metálica que cumplan las normas nacionales e internacionales, o acuerdos privados de calidad, trabajando siempre con responsabilidad y respeto por los clientes, los colaboradores, la comunidad y el medio ambiente, tomando siempre como base los objetivos y las políticas de los accionistas, para afianzar nuestra posición en el mercado nacional y expandirnos a nivel internacional [4].

1.2 Visión de la empresa

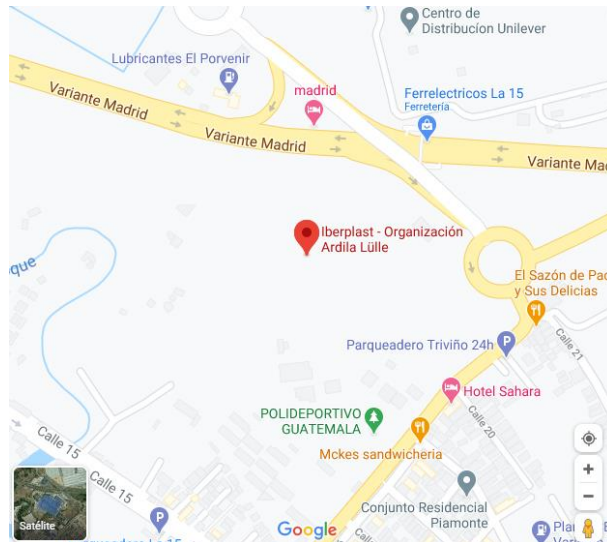
Ser la empresa líder en el mercado nacional y reconocida internacionalmente en la industria de envases y empaques plásticos y metálicos (acero o aluminio), con estándares y normas de categoría mundial en armonía con la calidad y el medio ambiente con decidido trabajo en equipo, proyectándonos a nivel subregional e internacional la imagen de la compañía [4].

1.3 Localización de la empresa

En la figura 1 se relaciona la ubicación de la empresa Iberplast S.A.S

Figura 1.

Localización De La Empresa



Nota: La figura de localización de la empresa IBERPLAST S.A.S.

Tomado de: Google maps.

1.4 Descripción del problema

Iberplast S.A.S. es una organización ubicada en Madrid (Cundinamarca), dedicada a la fabricación y comercialización nacional e internacional de tapas y preformas las cuales son elaboradas a partir de aluminio, acero cromado y resinas plásticas. Preocupada por la sostenibilidad del medio ambiente, y el impacto de sus productos en el año 2019 Iberplast se acoge al sistema de gestión de Basuras Cero con el fin de mitigar el impacto ambiental que generan las actividades que se realizan se busca reducir la generación de desperdicios sólidos, ya que actualmente el país genera 12 millones de toneladas de residuos sólidos al año y donde solo se recicla el 17% y donde un 10% de los residuos plásticos generados en todo el planeta se dirige a la costas para terminar en el lecho marino [3].

Con las políticas de incorporación de material reciclado en los productos de Iberplast, se espera la reducción de residuos plásticos minimizando la contaminación que se

genera en Colombia con los plásticos, de tal manera que se estaría dando cumplimiento al sistema de gestión de basura cero. Y la Resolución 1407 de 2018 [5] la cual establece que se debe tener un plan de gestión ambiental de residuos de envases y empaques para fomentar su aprovechamiento. Se dará cumplimiento a la norma ISO 14001:2015 [6] con el fin de seguir garantizando el crecimiento sostenible de la organización.

Asimismo, se hace necesario la evaluación de la incorporación de porcentaje de material reciclado EKO PE (Polietileno reciclado) el cual proviene de tapa plástica y etiqueta obtenida durante el proceso de separación de reciclaje de botellas de un solo uso PET, este polímero fue seleccionado ya que actualmente en la organización no hay un aprovechamiento del mismo. El material lo proporciona Enka de Colombia, la cual es una empresa colombiana que trabaja continuamente con los recicladores y trata el material que proviene del territorio colombiano del cual se generan alrededor de 27000 toneladas anuales en Colombia.

Actualmente en Iberplast S.A.S. se recicla polietileno de alta densidad (PEAD) el cual se genera y se reintegra en la fabricación de cajas plásticas, en donde se usa en un 50% de molido de cajas postindustria y postconsumo y 50% de PEAD original, sin embargo, se está buscando incluir en la formulación el material de Enka ya que así cerrara el ciclo de vida de toda una botella de un solo uso.

2. GENERALIDADES

Este apartado del capítulo consiste en estudiar los diferentes tipos de polímeros que se emplean industrialmente, en donde se determinaran las propiedades fisicoquímicas y mecánicas del material EKO PE mediante una revisión bibliográfica, se determinaran valores de índice de fluidez, densidad, apariencia visual (color), resistencia al impacto y deformación elástica. Posteriormente se elaborará un análisis de resultados.

2.1.1 Polietileno

El polietileno (PE) es uno de los polímeros más empleados en los diferentes procesos a nivel industrial, se considera un termoplástico lo cual indica que se degrada a altas temperaturas y a su vez este tiene la capacidad de convertirse en un líquido, en donde sí se reduce la temperatura la forma cambia [7].

Actualmente existen diferentes tipos de polímeros los cuales se dividen dependiendo de las características físicas y químicas de los mismos:

2.1.2 Polietileno de alta densidad

El polietileno de alta densidad (PEAD), está constituido por macromoléculas poco ramificadas, tiene gran cristalinidad y una alta resistencia [8]. El PEAD es un polímero de cadena lineal no ramificada, por lo cual es fuerte, duro y más pesado que el polietileno de baja densidad. Se puede obtener mediante un proceso de polimerización catalítica, los catalizadores más empleados son del tipo óxido de un metal de transición o del tipo Ziegler - Natta. En este proceso se utiliza un solvente el cual disuelve al monómero, al polímero y al iniciador de la polimerización. Al diluir el monómero con el solvente se reduce la velocidad de polimerización y el calor liberado por la reacción de polimerización es absorbido por el disolvente. Generalmente se puede utilizar benceno o cloro-benceno como solventes. En la polimerización en masa se polimeriza sólo el monómero, por lo general en una fase gaseosa o líquida, y se realizan algunas polimerizaciones en estado sólido. Esta es una polimerización directa de monómeros en un polímero, en una reacción en la cual el polímero permanece soluble en su propio monómero [9].

2.1.3 Polietileno de baja densidad

El polietileno de baja densidad (PEBD) está conformado por unidades repetitivas de etileno, cuenta con una estructura de cadenas ramificadas, alta cristalinidad en cuanto a la resistencia es menor a la del polietileno de baja densidad. [10]

2.1.4 Polietileno lineal de baja densidad

El polietileno de lineal de baja densidad (PELBD), cuenta con propiedades intermedias al polietileno de alta y baja densidad, cuenta con un desgarramiento progresivo, mayor resistencia a la tracción e impacto a temperaturas bajas.[8]

2.1.5 Propiedades fisicoquímicas y mecánicas

Tabla 1.

Propiedades fisicoquímicas y mecánicas de los tipos de PE

Tipos de PE	Grado de Ramificación	Intervalo de Fusión (°C)	Densidad Aparente g/mL	Resistencia dureza	Alargamiento
PEBD	Alto	105-110	0.86-0.92	Escasa	Altos
PELBD	Medio	115-125	0.92-0.94	Media	Medios
PEAD	Bajo	125-135	0.94-0.96	Alta	Bajos

Nota: Esta tabla muestra las propiedades fisicoquímicas y mecánicas de los tipos de PE, en donde se evidencia que el polietileno es un termoplástico estándar el cual cuenta con buenas propiedades fisicoquímicas y mecánicas el cual puede ser empleado en múltiples aplicaciones. Tomado de: MODELADO Y SIMULACIÓN DE UN PROCESO DE DESPOLIMERIZACIÓN VÍA PIRÓLISIS CATALÍTICA: POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (PEAD), pag. 20. <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/327/1/Tesis MTP Jesus Zavala.pdf>.

En la tabla 1 se puede visualizar las propiedades fisicoquímicas y mecánicas del polietileno, en donde se evidencia que el grado de ramificación más alto es el del polietileno de baja densidad lo cual indica que tiene una gran cristalinidad, por lo tanto,

tendrá una menor densidad y a su vez una menor resistencia mecánica. En cuanto al polietileno de alta densidad se puede evidenciar que posee un bajo grado de ramificación indicando que posee una alta resistencia mecánica y con ello un incremento en la densidad [11]. La resistencia a la dureza dependerá del grado de ramificación de cada polietileno.

Finalmente, el punto de fusión de los diferentes polietilenos es de 110°C lo que indica que si la temperatura se reduce este incrementara sus propiedades mecánicas como lo son: dureza y fragilidad. Es importante resaltar que es un fluido no newtoniano en estado líquido, lo cual indica que la viscosidad es variante y dependerá de la temperatura del mismo [12].

2.1.6 Ciclo de vida de tapa plástica y etiqueta

El análisis de ciclo de vida se realiza con el fin de identificar los impactos ambientales que generan los diferentes procesos productivos. Se compone de etapas de extracción, tratamiento, fabricación, transporte, distribución, uso, reciclado, reutilización, y disposición final.

Figura 2.

Modelo De Economía Circular



Nota: La figura representa el ciclo de vida de envases de PEAD, desde la obtención de las materias primas hasta la disposición final. Tomado de: <https://aniq.org.mx/eventos/2016/Foro%20Cipres/docs/6%20An%C3%A1lisis%20de%20Ciclo%20de%20Vida%20PEAD%20-%20%20CADIS.pdf>

En la figura 2 se puede evidenciar un modelo de economía circular [13], el cual consiste en reducir, reciclar y reutilizar en un círculo continuo evidenciado en futuras inversiones una gran rentabilidad.

El ciclo comienza con la obtención del polietileno de alta densidad mediante la polimerización del etileno a temperaturas y presiones bajas en presencia de un catalizador. Continuamente pasa al proceso de producción el cual es conocido como inyección y soplado. Una vez obtenido el envase y la tapa, con la respectiva sustancia pasa al llenado y empaçado para finalmente ir a un centro de distribución y ser consumida [14]. Después de que el producto se haya consumido, el envase debe reintegrarse al ciclo de vida, para ser llevado a un centro de acopio.

Para lograr la implementación de un tipo de economía circular y cumplir con el ciclo de vida de tapa plástica y etiqueta, se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones.

- **Implementación de sistemas de gestión de energía en la producción de la resina del PEAD:** Principalmente se enfoca en la reducción de consumo de energía mediante el uso eficiente de la misma. Se deberá desarrollar e implementar una política organizacional, mediante la gestión de los procesos productivos o servicio que interactúan con el uso de la energía.
- **Autoabastecimiento de energía a sus procesos a través de proyectos de cogeneración:** Se basan fundamentalmente en la optimización de energía eléctrica y en la energía térmica, representando un ahorro económico y un adecuado uso de las diferentes fuentes de energía.
- **Innovación en el diseño de las tapas plásticas e incorporación de resina reciclada:** Buscar estrategias para optimizar el consumo de resina de PEAD sin limitar su funcionalidad, este proyecto de investigación va enfocado a buscar como alternativa de producción un material reciclado que cumple a cabalidad con la resina virgen de PEAD tanto con sus propiedades fisicoquímicas como mecánicas.
- **Optimización del consumo energético:** Se da en los procesos de soplado y llenado del envase, al realizar la optimización del consumo energético no solo se está realizando un proceso más amigable con el medio ambiente sino también innovador y rentable.

2.1.7 Ecodiseño

Según la organización de la naciones Unidas (ONU) actualmente se emplea 50% más de los recursos naturales [15], debido al impacto que se ha generado buscan un modelo que optimice los recursos y la energía que se emplean, en consecuencia se está ha venido implementando el modelo denominado en múltiples empresas Eco Diseño, el cual consiste en la creación de productos amigables con el medio ambiente los cuales son sostenibles, desde su creación desarrollo transporte y reciclaje [15].

Figura 3.

Beneficios del Ecodiseño



Nota: La figura representa los beneficios de la implementación de los beneficios del ecodiseño. Tomado de: <https://www.iberdrola.com/compromiso-social/ecodisenoproductos-sostenibles> (accessed Nov. 28, 2020)

En la figura 3 se puede observar los beneficios de la implementación del modelo Ecodiseño. Es importante mencionar que este modelo busca diferentes factores:

- Reducción de material en los diferentes procesos productivos, eso con el fin de proteger los recursos naturales [15].
- Uso de materiales Biodegradables el cual sea multifuncional, reutilizable y reciclable
- Reducción de emisiones los productos deben tener un tamaño adecuado lo que llevará a un ahorro de material y transporte, con el objetivo de disminuir las emisiones de CO2.

2.1.8 Eco innovación

Como contribución al desarrollo sostenible existe el programa de la Eco Innovación el cual busca el aprovechamiento de los recursos naturales, en donde se tienen en cuenta aspectos como estrategia, diseño de procesos y la relación entre los clientes y proveedores [16]. Al implementar este tipo de estrategias las empresas optimizan los

recursos como: energía y materiales que emplean, con el fin de tener un ahorro en los costes de los diferentes procesos productivos [16].

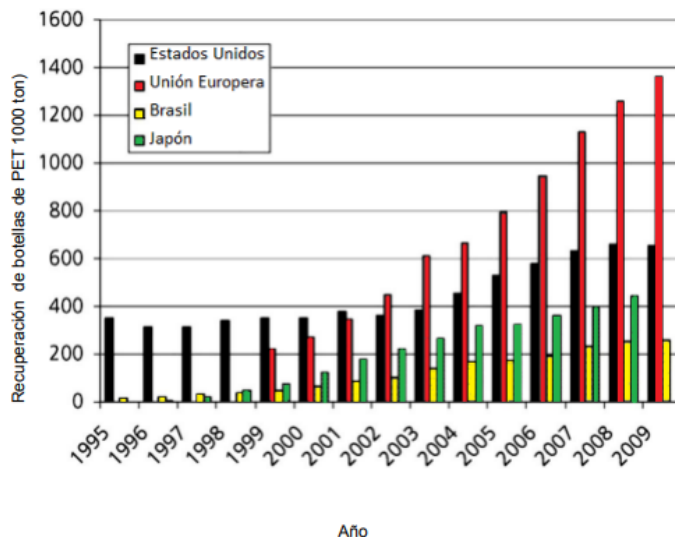
2.1.9 Reciclaje de plásticos

El reciclado de plásticos surge como una manera eficiente para el correcto manejo de los diferentes residuos plásticos, se genera por la normatividad que actualmente las diferentes empresas deben cumplir y como una mitigación del impacto ambiental, que con el pasar no solo de los días sino de los años se incrementa constantemente.

2.1.9.a. Reciclaje de PET

Figura 4.

Recuperación De Botellas PET



Nota: La figura representa la recuperación de botellas PET de EE.UU, Unión Europea, Brasil y Japón. Tomado de: A. Durán Moreno and C. Gutiérrez Palacios, "UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO."

En la figura 4 se puede observar la recuperación de botellas PET de EE. UU, Unión Europea, Brasil y Japón. La tendencia del gráfico muestra cómo a medida que transcurren los años la recuperación de las botellas PET se incrementa, generando que los procesos productivos que se llevan a cabo en cada país tengan una regulación

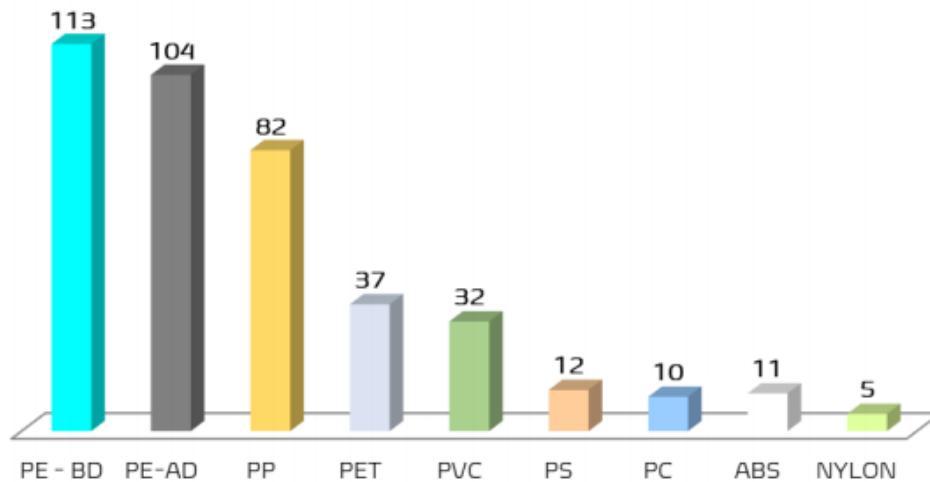
ambiental del manejo que se les está dando a los diferentes productos que fabrican según la actividad productiva que generen las mismas esto se da con el fin de disminuir el impacto ambiental.

2.1.9.b. Reciclaje De PEAD

A partir de un estudio de la Universidad Piloto de Colombia [18] el cual consiste en estudiar las empresas que más transforman el plástico en Bogotá.

Figura 5.

Resinas Transformadas Por Diferentes Industrias

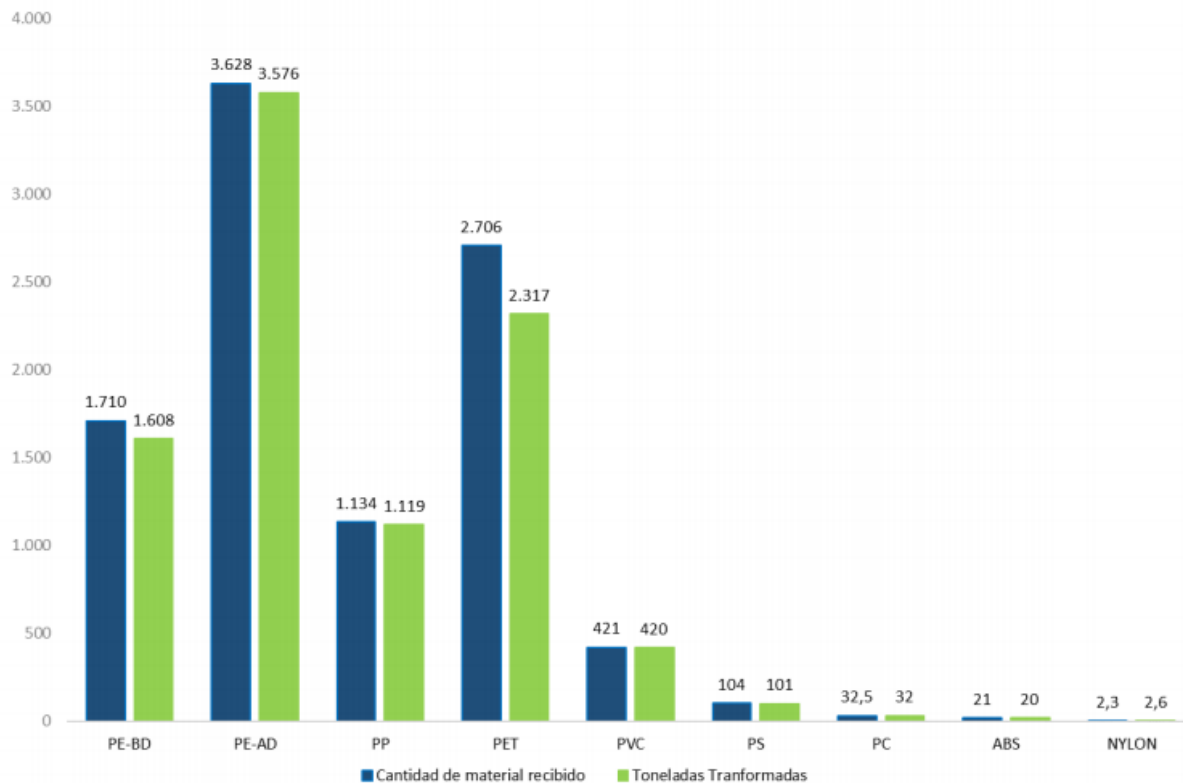


Nota: La figura representa las resinas transformadas por diferentes industrias en Colombia. Tomado de: M. H. Tascón et al., "Perfilar 200 empresas transformadores e Plástico posconsumo en Bogotá."

En la figura 5 se puede observar las resinas más recicladas por las empresas: Encontrando en primera medida el polietileno de baja densidad del cual 113 empresas se transforman 1608 Ton, seguido del polietileno de alta densidad del cual 104 empresas transforman alrededor de 3576 Ton, en tercer lugar se evidencia que 82 empresas transforman 1119 Ton de polipropileno, y en cuarto lugar Polietileno Tereftalato donde 37 empresas transforman 2317 Ton [18].

Figura 6.

Cantidad de material transformado en toneladas mensuales



Nota: La figura representa la cantidad de material recibido y transformado de diferentes tipos de resinas. Tomado de: M. H. Tascón et al., "Perfilar 200 empresas transformadores e Plástico posconsumo en Bogotá."

En la figura 6 se puede observar que el polietileno de alta densidad es la resina que más transforman las empresas donde la cantidad de material recibido es de 3628 Ton, transformando 3576 Ton, la segunda resina es el PET en donde la cantidad de material recibido 2706 Ton del cual se transforma 2317 Ton.

2.1.10 Reciclaje mecánico

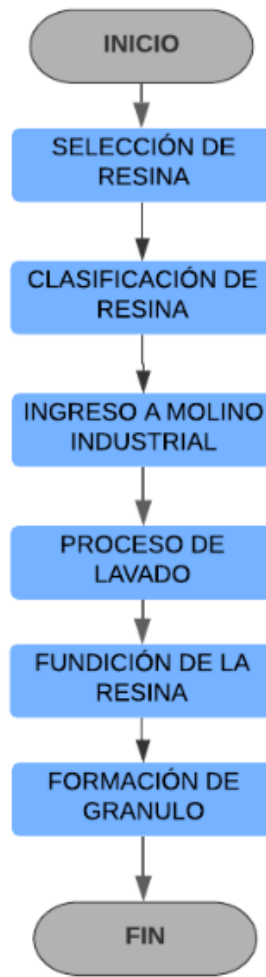
El reciclaje mecánico consiste en la recolección de un material que no ha sido expuesto a altas degradaciones, separaciones y limpio el cual se introduce en un molino con el fin de obtener pellets reciclados, posteriormente ingresa a un nuevo proceso de extrusión e inyección. El reciclaje mecánico del polietileno de alta densidad consiste en

la recepción y almacenaje de los materiales, selección del plástico o identificación, triturado del mismo modo que el producto quede en forma de gránulo, para poder incorporarlo de nuevo a la cadena productiva, cerrando así el círculo de producción limpia [8]. Se recomienda un lavado del material previo a la selección del polietileno de alta densidad y baja densidad. Este tipo de reciclaje no es destructivo como el reciclaje químico, este se caracteriza en que es un proceso en el que la estructura química del polímero se cambia y se convierte en moléculas más cortas que se pueden usar nuevamente como materia prima en procesos químicos o petroquímico, sin embargo, es un término que emplea tecnologías más complejas, lo que posiblemente conlleve costos más altos e impacto ambiental que el reciclaje mecánico [19].

2.1.10.a. Proceso de reciclado de la empresa ENKA de Colombia

Figura 7.

Proceso de reciclado de la empresa ENKA



Nota: El esquema representa el proceso de reciclado de la empresa ENKA, desde la selección y clasificación de la resina, hasta la formación del granulo.

En la figura 7 se puede visualizar el proceso de reciclado de la empresa ENKA. El proceso inicia con la selección y clasificación de la resina, enseguida pasa a un molino industrial, posteriormente pasa a un proceso de lavado esto con el fin de quitar

impurezas debido a que la resina a procesar debe tener la menor contaminación posible. Finalmente, el PEAD es fundido y se granula. Es importante mencionar que la separación de las resinas depende de las propiedades físicas de las mismas, donde se tienen en cuenta las siguientes variables [20].

- Color: Actualmente se tienen diferentes métodos los cuales son automáticos y permiten agilizar la separación [20].
- Tamaño de Partícula: La mezcla va ligada con tamaño de partícula debido a que se tienen en cuenta propiedades como fuerza, flexibilidad y resistencia al impacto debido a que estas varían de un material a otro [20].
- Densidad: Se emplean métodos de flotación, ciclones, lixiviaciones, puesto que cada material presenta una densidad distinta la cual varía dependiendo de la pureza del mismo, del pigmento o carga mineral [20].
- Electromagnetismo: Es un método sencillo que se emplea para la recuperación de metales ferrosos empleando separadores magnéticos [20].

3. PROPIEDADES FISICOQUIMICAS Y MECÁNICAS DEL POLIETILENO RECICLADO

El material EKO PE es un polietileno reciclado de alta y baja densidad postconsumo y postindustria, en este proyecto se evalúa la incorporación de cierto porcentaje y/o dosificación de material reciclado al proceso de inyección de huacales en la empresa Iberplast S.A.S.

3.1 Densidad del polietileno reciclado

La densidad se define como la relación entre la masa y el volumen de una sustancia, lo cual indica que entre mayor masa tenga un cuerpo en un mismo volumen mayor será la densidad [21].

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Donde:

ρ : Densidad de la sustancia (kg/m³)

m: Masa de la sustancia (kg)

V: Volumen (m³)

El polietileno de alta densidad cuenta con pocas cadenas de ramificación generando que la distancia entre macromoléculas sea corta, ocasionando que tenga una alta densidad, tiene una baja resistencia al impacto y a la elongación sin embargo cuenta con una elevada dureza [22]. Teniendo en cuenta lo anterior, la densidad del material reciclado EKO PE, investigada por bibliografía y proporcionada por la empresa Enka [23], se obtuvo un valor de 0,932g/cm³. Lo cual indica que cumple con las especificaciones del polietileno el cual está en un rango de 0.912 g/cm³ hasta 0.975 g/cm³.

3.2 Índice de fluidez del polietileno reciclado

El índice de fluidez está asociado a la dureza o blandura del polímero, ya que mide la capacidad de este a fluir cuando es sometido a determinadas condiciones [24].

El índice de fluidez del material EKO PE, investigada mediante revisión bibliográfica la cual es proporcionada por la empresa Enka [23], se obtuvo un rango entre 1.0-2.0 g/10min. Lo cual indica que el polietileno reciclado EKO PE tendrá una mejor resistencia al impacto, mayor viscosidad de fundido, y menor permeabilidad [24].

3.3 Apariencia visual del polietileno reciclado

La apariencia visual hace referencia a la apariencia de un material en dónde está directamente asociado al color. El material EKO PE como se evidencia en la figura 8 presenta un color gris oscuro.

Figura 8.

Material EKO PE



Nota: La figura representa el material EKO PE granulado.

3.4 Resistencia al impacto del polietileno reciclado

La resistencia al impacto es una de las principales propiedades mecánicas de los polímeros debido a que es la resistencia de un plástico a la fractura por el choque de una carga a la que es sometido. Adicionalmente esta propiedad está relacionada con la temperatura, ya que esta afecta la tenacidad del polímero, otro factor importante a considerar es la velocidad de la carga aplicada debido a que cuanto más alta sea la velocidad de carga el polímero se quebrará más fácilmente, este fenómeno sucede porque para que las fuerzas intermoleculares sean efectivas debe haber un alto lapso de tiempo [25].

Según revisión bibliográfica la cual es proporcionada por la empresa Enka [23], se determinó un valor de resistencia al impacto de 139 J/m.

3.5 Elaboración de resumen de resultados

Tabla 2.

Propiedades Físicoquímicas y mecánicas del material EKO PE brindadas por la empresa Enka

Características del material EKO PE		
Propiedad	Valor	Unidad de medida
Densidad	0,932	g/cm ³
Apariencia Visual	Gris Oscuro	-
Tamaño del Gránulo	34±10	piezas/g
Índice de Fluidéz	1.0-2.0	g/10min
Resistencia al Impacto	139	J/m

Nota: Esta tabla muestra las propiedades fisicoquímicas y mecánicas del material EKO PE, en donde se evidencia propiedades como: densidad, apariencia visual, tamaño del granulo, índice de fluidez, resistencia al impacto. Tomado de: citar ficha de ENKA.

En la tabla 2 se evidencian las propiedades fisicoquímicas y mecánicas del material EKO PE encontradas en la revisión bibliográfica [23].

4. ESTABLECIMIENTO DEL PORCENTAJE DE POLIETILENO RECICLADO QUE CUMPLA CON LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL PRODUCTO

Este apartado del capítulo consiste en la realización del ensayo industrial con el material EKO PE mediante un proceso de inyección de huacales por medio de la realización de pruebas experimentales de tipo fisicoquímicas y mecánicas según la *NI 11011* establecida por la empresa [26], por tal motivo se evaluará el material EKO PE en distintos porcentajes como se muestra a continuación, estos porcentajes fueron escogidos debido a que se busca la evaluación del comportamiento mecánico y transporte en condiciones reales de almacenamiento que previamente fueron establecidos por la empresa.

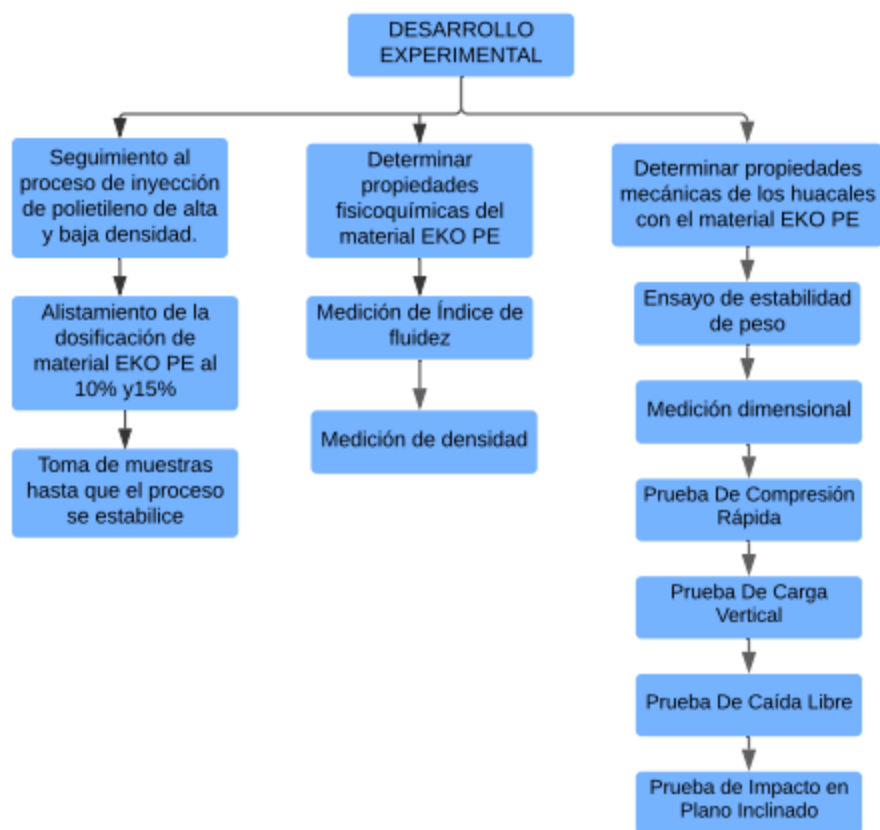
4.1 Desarrollo experimental

El desarrollo experimental se realizó con el fin de evaluar si el material EKO PE cumple con las especificaciones técnicas del producto en este caso para la producción de huacales. Se hizo el seguimiento al proceso de inyección de huacales con el material EKO PE al 10% y 15%, estas dosificaciones fueron elegidas debido a que un porcentaje menor no es significativo para una caja de peso 2250g, ya que en la actualidad se usa un 50% de PEAD reciclado, resaltando que al emplear el material reciclado proporcionado por Enka de Colombia se busca disminuir el consumo de PEAD original y con ello los costos de producción y cambiarlo por un material postconsumo cerrando el ciclo de vida del producto, así mismo si se dosifica a una cantidad inferior a la recomendada la pieza puede salir incompleta o cortada por lo que para evitar este defecto se puede dosificar más volumen de inyección o bien aumentar la velocidad de inyección [27]. Adicionalmente no se emplearon porcentajes superiores ya que se desconocía el comportamiento del material en la máquina y el proceso así como también en el producto, también a medida que aumenta la dosificación de material reciclado se va perdiendo resistencia tanto a compresión como a flexo tracción [28]. El proceso de inyección se llevará a cabo siguiendo los protocolos establecidos por la empresa y siguiendo el procedimiento operativo, de inspección y control del proceso de polietileno de alta y baja densidad el cual está establecido con *Código: NO*

44010 de Iberplast S.A.S. [29]. Una vez obtenidos los huacales se inspeccionaran cualitativamente para verificar que no presenten ningún tipo de contaminación, inicialmente se le medirá al material EKO PE propiedades fisicoquímicas como lo es el índice de fluidez debido a que esta es la que establece la *NI 11011* [26] por medio de un indexador de fusión Dynisco® LMI4000 a 190°C con tiempo de precalentamiento de 230 segundos las cuales son condiciones de operación para el correcto funcionamiento del equipo.

Figura 9.

Desarrollo experimental



Nota: El esquema representa el desarrollo experimental que se llevó a cabo durante el proyecto de investigación.

En la figura 9 se puede visualizar el desarrollo experimental. En cuanto a las propiedades mecánicas del huacal se evaluarán de la siguiente manera.

✓ En la primera se evaluará las dimensiones del huacal según la norma *NI 11011* [26].

- ✓ La segunda es la prueba de compresión rápida en donde se ubicará la caja de manera horizontal, esta será sometida a una fuerza de 750kg y posteriormente se verificará si cumple o no con las especificaciones de la ficha técnica para el huacal original siguiendo la norma *NI 11011* [26].
- ✓ La tercera prueba es carga vertical se llevará a cabo en el equipo mencionado anteriormente con la diferencia de que serán sometidas a un tiempo de 24 horas para evaluar qué porcentaje de deformación presenta, según la norma *NI 11011* [26].
- ✓ La cuarta es la prueba de caída la cual se llevará a cabo mediante la elevación a 1, 2 y 3 m de altura con el fin de dejarlas caer y verificar si hay rotura, según la norma *NI 11011* [26].
- ✓ Se hará un pesaje del huacal por medio de una balanza, según la norma *NI 11011* [26].

4.2 Inyección de caja plástica con dosificación del polietileno reciclado al 10% y 15%

Este desarrollo experimental se realizó en la empresa Iberplast S.A.S en la inyectora Krauss Maffei 4, la cual cuenta con una cabina de control en donde se manipulan variables como temperatura, presión, dosificación y velocidad del husillo. Se puede visualizar en la figura 10.

Figura 10.

Inyectora Krauss Maffei

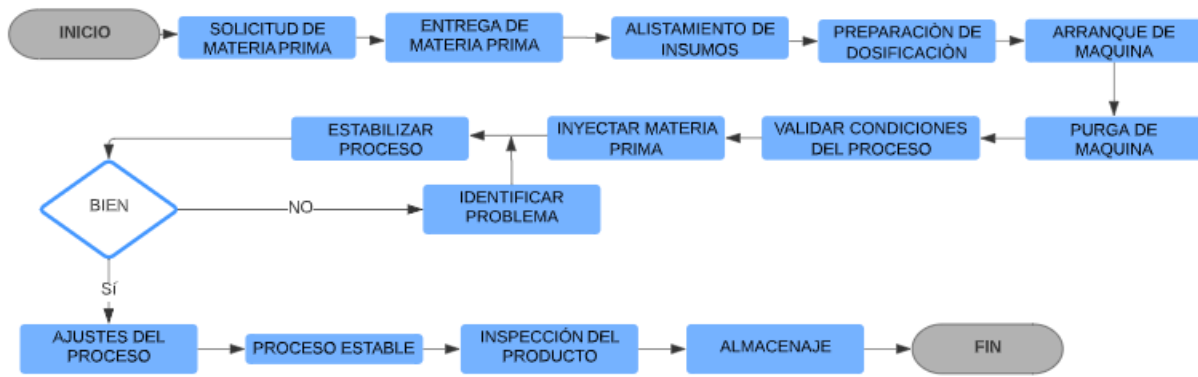


Nota: La figura representa la maquina Krauss Maffei donde se llevó a cabo el proceso de inyección.

4.2.1 Procedimiento de inyección

Figura 11.

Procedimiento de inyección



Nota: El esquema representa el procedimiento de inyección para la fabricación de huacales en la empresa IBERPLAST S.A.S.

En la figura 11 se puede apreciar el procedimiento de inyección se llevará a cabo siguiendo los protocolos establecidos por la empresa y siguiendo el procedimiento operativo, de inspección y control del proceso de polietileno de alta y baja densidad el cual está establecido con el Código: NO 44010 de Iberplast S.A.S. [29].

- ✓ Alistamiento de insumos y productos semielaborados.
- ✓ Verificar la alimentación de material de la máquina
- ✓ Arranque de máquina Krauss
- ✓ Purga de Máquina
- ✓ Verificar condiciones de proceso
- ✓ Inyectar muestras
- ✓ Validar inyección
- ✓ Inspección cualitativamente el producto
- ✓ Colocar u organizar en bandas transportadoras
- ✓ Almacenaje

Una vez obtenidos los huacales se inspeccionaron cualitativamente para validar que no presentaran ningún tipo de contaminación.

Es importante mencionar que el código *NO 44010* de Iberplast S.A.S. [29] nos habla del procedimiento operativo de inspección y control del proceso de inyección de polietileno de alta y baja densidad. Asimismo, menciona los equipos y elementos de trabajo tales como:

Equipos

- ✓ Maquina inyectora
- ✓ Equipo de alimentación y dosificación
- ✓ Compresor de baja presión
- ✓ Sistema de refrigeración
- ✓ Equipo de remachado

Elementos de Transporte

- ✓ Estibador Manual
- ✓ Montacargas

4.3 Norma de inspección y control 11011

La norma interna *NI 11011* de Iberplast S.A.S [26] menciona las especificaciones, pruebas y ensayos, clasificación de defectos, un plan de muestreo, procedimientos, equipos de medición, también expresa los procedimientos que se deben seguir para la inspección y control de los huacales producidos a través del proceso de inyección mencionado anteriormente.

Especificaciones

- ✓ Altura
- ✓ Peso
- ✓ Largo
- ✓ Ancho

Pruebas y Ensayos

- ✓ Encarrado
- ✓ Resistencia a la carga vertical

Equipos de Medición

- ✓ Balanza electrónica
- ✓ Altímetro digital
- ✓ Fadeometro

✚ Clasificación de Defectos

Tabla 3.

Clasificación de defectos

Clasificación de Defectos		
Críticos	Mayores	Menores
Orificios	Rebaba Excesiva	Brillo no uniforme
Burbujas	Material Quemado	Rayas Leves
Incompletas	Puntos Negros o Contaminación	Contaminación Leve

Nota: Esta tabla muestra la clasificación de defectos para el huacal. Tomado y adaptado de: IBERPLAST S.A.S., “NI 11011 - Norma Interna.” Accessed: Feb. 03, 2021. [Online].

Available:

<https://mail.google.com/mail/u/1/#search/geraldine/FMfcgxwJWhxQNzthISgPQZrnsBzhdkdG?projector=1&messagePartId=0.1>.

✚ Plan de Muestreo

Se deberá tomar un número de huacales al azar los cuales se seleccionará mediante una inspección normal 0 para críticos y se deben tomar las mismas muestras para defectos mayores y menores. Los defectos menores no ocasionan rechazo, pero si se debe informar al área de producción para la toma de acciones preventivas y correctivas.

4.4 Determinación de las propiedades fisicoquímicas del polietileno reciclado

La determinación de las propiedades fisicoquímicas se realizó en el laboratorio de Iberplast S.A.S, donde para evaluar el índice de fluidez y la densidad se empleó un indexador de fusión Dynisco® LMI4000 el cual fue configurado previamente con las siguientes condiciones:

Tabla 4.

Condiciones De Funcionamiento Del Indexador

Método	Pto Ajuste	Densidad	T Precal	T Corte	Cal Fer	Long Ref	Enconder	Peso	Límites CCC	ID Prog
B	190 °C	0,760 g/cc	230 seg	OFF	2	6,35m m	LISTO	2,160 kg	OFF	PEAD

Nota: Esta tabla muestra las condiciones de funcionamiento del indexador.

Adicionalmente se emplea el método B debido a que este permite determinar el volumen del polímero fundido en intervalos regulares, por tal motivo el medidor de índice de fluidez está equipado con un transductor de desplazamiento del pistón, se observa que se obtiene un resultado en volumen lo cual indica que es el volumen extraído por unidad de tiempo g/10min. Una ventaja de este método es que se elimina el corte mecánico, lo cual indica que la secuencia del ensayo se puede llevar a cabo sin la intervención del operario [30]. Según este método, el material extruido se corta en intervalos de tiempo constantes y se determina con una balanza analítica. En cuanto al método A el resultado del ensayo es la masa extruida por unidad de tiempo, indicada en g/10 min. Sin embargo este método exige la presencia de un usuario durante todo el ensayo, por lo que su automatización es limitada [30].

Una vez configurado el equipo se procede a la realización de las pruebas de Índice de Fluidez y densidad, esto se hace con el fin de validar y/o verificar si el material cumple con las especificaciones de la ficha técnica.

4.4.1 Medición de índice de fluidez

El ensayo de índice de fluidez consiste en la introducción de unos gramos de material, que se calientan a una temperatura previamente normalizada en función del tipo de plástico en este caso para polietileno de alta densidad. Después se le aplica una presión a través de unas pesas (también normalizada en función del material las cuales fueron previamente establecidos según la norma ASTM D1238 [31]) y se observa y mide la cantidad de material fundido que la fuerza que ejerce la pesa aplicada hace fluir por un agujero calibrado de salida del material fundido [32].

Figura 12.

Indexador de fusión
Dynisco® LMI4000



Nota: La figura representa el equipo indexador fusión Dynisco® LMI4000

4.4.1.a. Resultados obtenidos de índice de fluidez

Tabla 5.

Resultados De Índice De Fluidez

Índice de Fluidez (g/10min)	1,695	1,683	1,677	1,676	1,670	1,661	1,660
------------------------------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Nota: Esta tabla muestra los resultados de Índice de fluidez.

En la tabla 5 se puede evidenciar los resultados obtenidos del índice de fluidez, esta medición se llevó a cabo siguiendo la norma ASTM D1238 la cual establece el tamaño de orificio estándar de 2.095 x 8 mm, también especifican la temperatura de fusión, el tamaño de la cámara de calor y el diámetro de la punta del pistón, así como el método de realización de la prueba [33].

A partir de un estudio denominado “Estudio de las Propiedades Mecánicas y Reológicas del Polietileno de Alta Densidad y Antioxidante en Base de Fosfitos Durante Cinco Ciclos de Inyección” realizado en la Escuela Superior Politécnica del Litoral Centro de Investigación Científica y Tecnológica [34], se encontró que a medida que disminuye el Índice de Fluidez aumenta el peso molecular, generando que el material tome las siguientes características: menor permeabilidad, mayor esfuerzo de tensión elástico, mejor resistencia al impacto, disminución de la solubilidad [34]. Adicionalmente los valores obtenidos durante la medición del Índice de Fluidez cumplen con las especificaciones expuestas en la ficha técnica del material EKO PE brindada por la empresa Enka [23] la cual establece un valor entre 1,0-2,0 g/10min.

Figura 13.

Medición De Índice De Fluidez



Nota: La figura representa la medición de índice de fluidez realizada en el equipo indexador fusión Dynisco® LMI4000

4.4.2 Medición de densidad

El ensayo de densidad consiste en la introducción de unos gramos de polietileno reciclado en el indexador, que se calientan a una temperatura previamente establecida en función del tipo de plástico en este caso polietileno de alta densidad. Seguidamente se le aplica una presión a través de unas pesas se observa y mide la cantidad de material fundido [32].

4.4.2.a. Resultados obtenidos de densidad

Tabla 6.

Resultados De Densidad

Densidad g/cm ³	0,931	0,920	0,933	0,914	0,937	0,940
--------------------------------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------


Nota: Esta tabla muestra los resultados obtenidos de densidad.

En la tabla 6 se evidencia los resultados obtenidos de densidad, lo cual indica que el material que el material tiene una baja cristalinidad, por lo tanto tendrá una alta resistencia mecánica, también que la cadenas de ramificación son pocas, generando que la distancia entre macromoléculas sea corta, ocasionando que tenga una alta densidad [21].

4.4.3 Equipo empleado para mediciones fisicoquímicas

Tabla 7.

Equipo De Mediciones Fisicoquímicas (Índice de Fluidez y Densidad)

Equipo	Imagen	Descripción	Unidades de medida
Dynisco® LMI4000		El instrumento con más precisión para la medición del caudal de fusión (MFR) o del índice del volumen de fusión (MRV) en aplicaciones de control de calidad e investigación. El LMI 4000 es el primer indexador del flujo de fusión que utiliza un poderoso microprocesador de 32 bits para proporcionar un control de los parámetros de prueba, autodiagnóstico y calibración digital. La computadora incorporada controla y muestra la temperatura a $\pm 0,1$ °C empleando un algoritmo de control PID único. Se ofrecen cuatro modelos de indexadores de fusión en la serie avanzada LMI 4000 de Dynisco, cada una con características diseñadas para cumplir requerimientos específicos de aplicaciones [35].	g/10min

Nota: Esta tabla muestra el equipo Dynisco® LMI4000 el cual fue empleado para las mediciones de las propiedades fisicoquímicas. Tomado de: Dynisco Plastics, "Sensores, controles y analizadores," vol. 2, p. 23, 2006.

4.5 Determinación de las propiedades mecánicas del polietileno reciclado

La determinación de las propiedades mecánicas sirve para evaluar la funcionalidad del huacal se realizaron en el área de inyección de cajas en Iberplast S.A.S, donde para evaluar dimensiones, determinación de la prueba de compresión rápida, medición de peso, resistencia a la carga vertical y resistencia a la carga de caída libre, se emplearon diferentes equipos los cuales fueron configurados previamente.

4.5.1 Ensayo de estabilidad de peso

Este ensayo se realiza para validar que no haya una variación de peso de los huacales que fueron inyectados al 10% y 15% con el material EKO PE según el rango establecido en la ficha técnica [36]. Después de obtener los huacales a las dosificaciones mencionadas anteriormente se toman 20, los cuales fueron pesados en una báscula industrial.

4.5.1.a. Resultados de ensayo de estabilidad de peso

Tabla 8.

Resultados De Estabilidad De Peso

Muestra 15% EKO	Peso (g)	Muestra 10% EKO	Peso (g)
1	2272,7	1	2267,2
2	2273,0	2	2267,5
3	2273,0	3	2267,7
4	2273,1	4	2267,8
5	2273,9	5	2267,4
6	2273,0	6	2267,0
7	2272,9	7	2267,5
8	2274,5	8	2268,1
9	2273,7	9	2269,4
10	2273,3	10	2268,0
11	2273,5	11	2269,5
12	2274,0	12	2268,9
13	2273,3	13	2268,8
14	2273,7	14	2267,9
15	2272,8	15	2267,2
16	2272,8	16	2267,8
17	2272,6	17	2268,5
18	2272,8	18	2268,0
19	2272,4	19	2267,7
20	2273,8	20	2266,7
Promedio	2273,2	Promedio	2267,9
Máximo	2274,5	Máximo	2269,5
Mínimo	2272,4	Mínimo	2266,7
Desv. Estándar	0,54	Desv. Estándar	0,75

Nota: Esta tabla muestra los resultados obtenidos de estabilidad de peso

Cálculo de desviación estándar

✚ Inicialmente se debe calcular la media aritmética mediante la siguiente fórmula [37]:

$$Media (\mu) = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_N}{N}$$

Dónde:

$N =$ Numero de datos

Resultados al 15% de EKO PE

$$Media (\mu) = \frac{45464,8}{20} = 2273,24$$

Resultados al 10% de EKO PE

$$Media (\mu) = \frac{45358,6}{20} = 2267,93$$

✚ Calcular el cuadrado de la distancia a la media

$$\sum(X - \mu)^2$$

Resultados al 15% de EKO PE

$$\sum(X - \mu)^2 = 5,70$$

Resultados al 10% de EKO PE

$$\sum(X - \mu)^2 = 10,92$$

✚ Calcular la desviación estándar [38].

$$\sqrt{\frac{\sum(X - \mu)^2}{N - 1}}$$

Resultados al 15% de EKO PE

$$\sqrt{\frac{\sum(X - \mu)^2}{N - 1}} = \sqrt{\frac{5,70}{20 - 1}} = 0,548$$

Resultados al 10% de EKO PE

$$\sqrt{\frac{\sum(X - \mu)^2}{N - 1}} = \sqrt{\frac{10,92}{20 - 1}} = 0,758$$

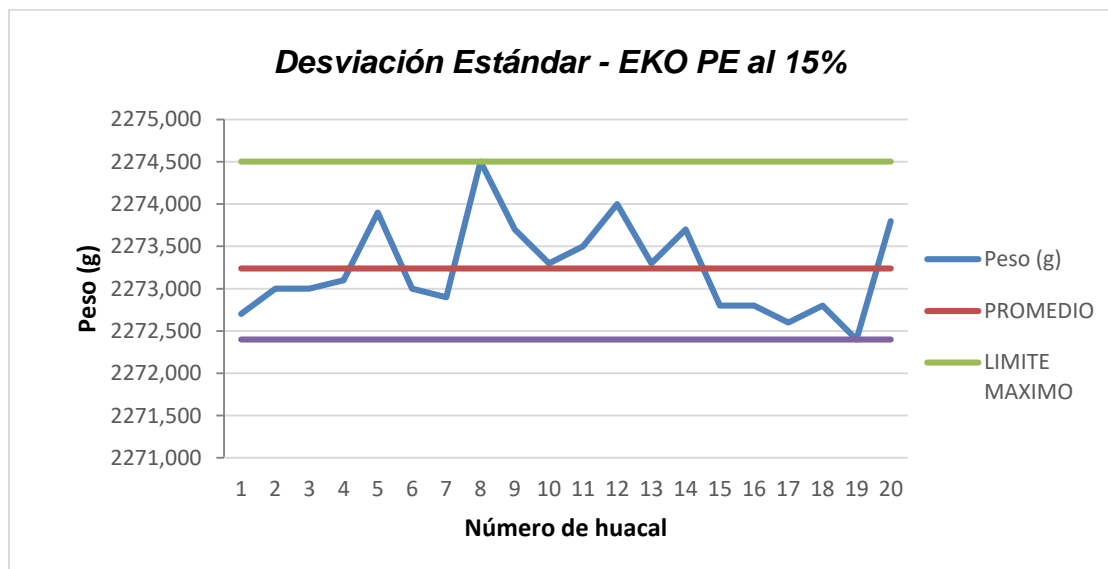
La tabla 8 muestra los datos obtenidos de la estabilidad de peso, la especificación de peso según la ficha técnica debe estar en un rango de 2250g +/- 50, con base en esto

se puede observar que para las dosificaciones del 10% y 15% el peso promedio cumple con lo establecido en la ficha técnica de Iberplast [36].

Adicionalmente se puede observar que los huacales inyectados a la dosificación del 10% presentan una mayor dispersión de datos por lo cual su desviación estándar incrementa en un 0,21 comparados con los huacales de la dosificación al 15%. Esto se puede generar a condiciones del proceso.

Figura 14.

Desviación Estándar - EKO PE al 15%

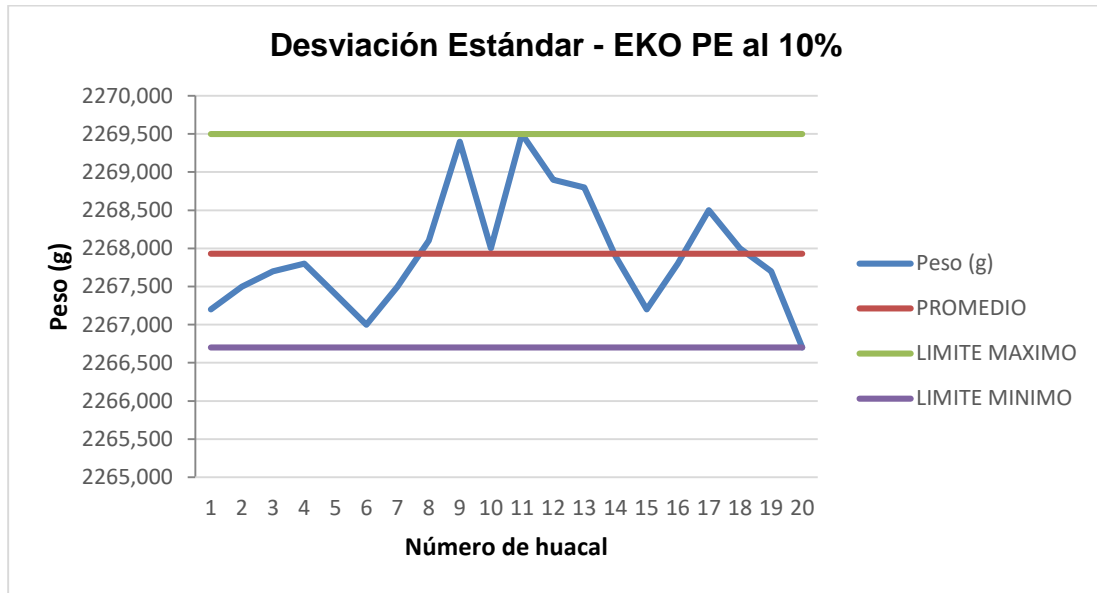


Nota: Esta grafica permite identificar si el proceso está bajo control estadístico o no lo está a la dosificación del 15% del material EKO PE.

En la figura 14 se tiene un gráfico de control el cual permite identificar si el proceso está bajo control estadístico o no lo está. Se observan los datos obtenidos de peso para la dosificación de material EKO PE al 15% que están un proceso bajo control, debido a que se identifican que los puntos no exceden ni el límite inferior, ni el superior. Por lo cual no hay una alta dispersión.

Figura 15.

Desviación Estándar - EKO PE al 10%



Nota: Esta grafica permite identificar si el proceso está bajo control estadístico o no lo está a la dosificación del 10% del material EKO PE.

En la figura 15 se tiene un gráfico de control estadístico del proceso con el fin de detectar la presencia de causas asignables o de tendencias esto para poder tener acciones correctivas y finalmente eliminar la variabilidad. Se observan los datos obtenidos de peso para la dosificación de material EKO PE al 10% los cuales están un proceso bajo control, debido a que se identifican que los puntos no exceden ni el límite inferior, ni el superior. Sin embargo, se observa que en los puntos 9, 11 alcanzan el límite superior y el 20 el límite inferior, esta condición se puede dar por la temperatura de inyección, ya que los materiales poliméricos requieren alcanzar cierto valor de temperatura en este caso 190°C, para obtener condiciones idóneas de viscosidad y fluidez para poder inyectarlo. Todo ello contrasta con que esta temperatura debe ser lo suficientemente baja, como para que no se aceleren los procesos fisicoquímicos que conduzcan a la degradación del material y/o alteración del proceso [39].

4.5.2 Medición dimensional

Este ensayo permite determinar si los huacales inyectados con dosificación al 10% y 15% cumple con los parámetros de peso, dimensiones y comportamiento al encarrado según la ficha técnica del huacal original de la empresa Iberplast S.A.S. [36], a su vez permite determinar si permite envasar bebidas carbonatadas las cuales irán al interior del mismo. Para llevar a cabo el desarrollo de esta prueba se tomaron 10 huacales inyectados con el material EKO PE a dosificaciones el 10% y 15%, se emplearon instrumentos como: Una balanza, calibrador digital o altímetro digital.

4.5.2.a. Resultados de medición dimensional

A continuación, se relacionan los datos obtenidos para la inyección de huacales con el material EKO PE al 10% y 15% respectivamente.

Tabla 9.

Resultados De Pruebas Dimensionales Material EKO PE al 10%

PARAMETROS		ESPECIFICACIÓN	PROMEDIO	MAXIMO	MINIMO	DESV. ESTANDAR
PESO (g)		2250 +/- 50	2267,63	2269,10	2267,10	0,55
DIMENSIONES (mm)	LARGO	305 +1,0 -3,0	304,76	305,26	304,25	0,31
	ANCHO	302 +1,5 -3,0	302,57	302,96	302,03	0,34
	ALTO	397,0 +2,0 -3,0	397,87	398,15	397,39	0,24
COMPORTAMIENTO AL ENCARRADO		CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	N/A

Nota: Esta tabla muestra los resultados obtenidos de pruebas dimensionales del material EKO PE al 10%

En la tabla 9 se observa que todos los parámetros de peso, dimensiones y comportamiento al encarrado a la dosificación de material EKO PE al 10% cumplen las especificaciones reportadas en la ficha técnica. La desviación estándar reportada a la dosificación del 10% de material EKO PE no presenta una dispersión de datos, también se observa que a una dosificación del 15% de material EKO PE presentan una diferencia del 0.03 indicando el proceso tiene un mayor control.

Tabla 10.

Resultados De Pruebas Dimensionales Material EKO PE al 15%

PARAMETROS	ESPECIFICACIÓN	PROMEDIO	MAXIMO	MINIMO	DESV. ESTANDAR	
PESO (g)	2250 +/- 50	2270,22	2273,70	2266,70	1,81	
DIMENSIONES (mm)	LARGO	305 +1,0 -3,0	304,70	304,97	304,45	0,16
	ANCHO	302 +1,5 -3,0	302,85	303,18	302,68	0,18
	ALTO	397,0 +2,0 -3,0	397,58	397,88	397,35	0,18
COMPORTAMIENTO AL ENCARRADO	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	N/A	

Nota: Esta tabla muestra los resultados obtenidos de pruebas dimensionales del material EKO PE al 15%

En la tabla 10 se observa que las especificaciones en cuanto a peso, dimensiones y comportamiento al encarrado a la dosificación de material EKO PE al 15% cumple con las especificaciones reportadas en la ficha técnica del huacal original [36]. También se evidencia en la desviación estándar que los datos obtenidos presentan una baja dispersión de datos indicando que el proceso es estable.

4.5.3 Prueba de compresión rápida

Este ensayo permite identificar a partir del huacal el máximo esfuerzo al cual puede ser sometido a una carga axial sin que se genere una rotura del mismo [40]. Se empleó un equipo de marca Equinehy, en donde se ubicó la caja de manera horizontal, posteriormente fue sometida a una fuerza de 750kg durante 24 horas, finalmente se verificó si el huacal cumple o no con las especificaciones ya establecidas de la ficha técnica del huacal original [36].

4.5.3.a. Resultados de prueba de compresión rápida

Tabla 11.

Resultados De Pruebas De Comprensión Rápida

Muestra	Carga Máxima Soportada (kg)		
Referencia	Especificación: >750 kg	750	Cumple
10% Reciclado EKO PE		750	Cumple
15% Reciclado EKO PE		750	Cumple

Nota: Esta tabla muestra los resultados obtenidos de pruebas de compresión rápida del material EKO PE al 10% y 15%.

En la tabla 11 se observa como a las dosificaciones del 10% y 15% de material EKO PE, las cuales fueron sometidas a una carga cumplen con las especificaciones técnicas [36], cabe mencionar que la muestra de referencia es un huacal a las dosificaciones actuales de la compañía.

4.5.4 Prueba de carga vertical

Este ensayo se realizó en un equipo Equinehy según la norma *NI 11011.*, se tomaron los huacales a las dosificaciones del 10% y 15% y con la dosificación actual para evaluar la deformación que estos pueden presentar a las 0, 3 y 24 horas, posteriormente se realizó y validó la altura a los tiempos mencionados anteriormente y se identificó la altura de recuperación de los mismos. Es importante resaltar que la deformación no debe ser mayor al 2%.

El porcentaje de deformación se realizó a partir de la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Deformación} = \frac{M.I - M.F}{M.F} * 100$$

Dónde:

M.I = Medida inicial sin carga

M.F = Medida final con carga

4.5.4.a. Resultados de pruebas de carga vertical

Tabla 12.

Resultados De Pruebas De Carga Vertical

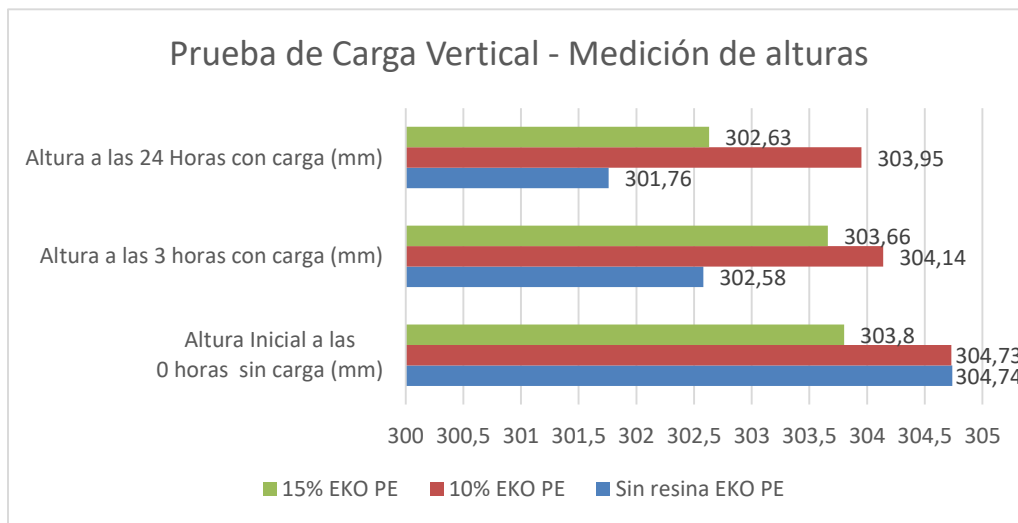
Muestra	Altura Inicial a las 0 horas sin carga (mm)	Altura a las 3 horas con carga (mm)	Altura a las 24 Horas con carga (mm)	% Deformación a las 3 horas	% Deformación a las 24 horas	Altura de recuperación (mm)
Sin resina EKO PE	304,74	302,58	301,76	0,71	0,99	301,83
10% EKO PE	304,73	304,14	303,95	0,19	0,26	304,29
15% EKO PE	303,80	303,66	302,63	0,05	0,39	303,46

Nota: Esta tabla muestra los resultados obtenidos de pruebas de carga vertical del material EKO PE al 10% y 15%.

En la tabla 12 se puede identificar cómo a medida que aumenta el tiempo la deformación aumenta, sin embargo los valores obtenidos de porcentaje de deformación a las dosificación del 10% y 15% de material EKO PE cumple con los parámetros establecidos [36].

Figura 16.

Prueba de Carga Vertical - Medición de alturas



Nota: Esta tabla muestra los resultados obtenidos de pruebas de carga vertical – Medición de alturas del material EKO PE al 10% y 15%.

En cuanto a la medición de alturas de las diferentes dosificaciones mencionadas anteriormente, a partir de la figura 16 se puede evidenciar que la dosificación del 15% de material EKO PE es la que menos presenta una deformación tanto a las 0, 3 y 24 horas. Se puede evidenciar que a las 0 horas el huacal con la dosificación al 15% tiene una altura inicial de 303,8. En cuanto al huacal con dosificación del 10% tiene una altura inicial de 304,73 y el huacal con la dosificación actual tiene una altura inicial de 304,74. Se puede evidenciar como a medida que transcurre el tiempo esta altura se va reduciendo para las dosificaciones al 10%, 15% y con la dosificación actual, sin embargo el que presento una menor reducción en su altura a las 24 horas con carga fue el huacal a la dosificación del 10% con un valor de 303,95.

Figura 17.

Medición De Pruebas De Carga Vertical



Nota: La figura representa la medición la medición de la prueba de carga vertical con el huacal EKO PE.

4.5.5 Prueba de caída libre

Esta prueba se llevó a cabo mediante la elevación de los huacales a la dosificación del 10% y 15% de material EKO PE a 1, 2 y 3 m de altura con el fin de dejarlas caer y verificar si hay rotura. Permitiendo identificar si los productos que se van a envasar en los mencionados huacales podrían llegar presentar daños a diferentes condiciones [41].

4.5.5.a. Resultados de prueba de caída libre

Tabla 13.

Resultados De Pruebas De Caída Libre

Muestra	Altura		
	1m	2m	3m
10% EKO PE	Cumple	Falla	Falla
15% EKO PE	Cumple	Cumple	Falla

Nota: Esta tabla muestra los resultados obtenidos de pruebas de caída libre del material EKO PE al 10% y 15%.

En la tabla 13 se identificó que tanto para la dosificación del 10% y 15% de material EKO PE cumplen a una altura de 1m, a una altura de elevación de 2m cumple solamente el huacal con dosificación al 15%, finalmente ambos huacales con las respectivas dosificaciones mencionadas anteriormente fallan a una elevación de 3m de altura.

4.5.6 Prueba de impacto en plano inclinado

Esta prueba se llevó a cabo mediante el uso de un equipo el cual está sometido a un plano inclinado, se tomaron los huacales a las dosificaciones del 10% y 15% de material EKO PE. Es de vital importancia ya que permite que el empaque este de la manera más óptima posible y a la vez permite asegurar los productos durante el proceso de transporte [42].

4.5.6.a. Resultados de prueba de impacto en plano inclinado

Tabla 14.

Resultados De Prueba de Impacto En Plano Inclinado

Muestra	Lado			
	1	2	3	4
10% EKO PE	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
15% EKO PE	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple




Nota: Esta tabla muestra los resultados obtenidos de pruebas de prueba de impacto en plano inclinado del material EKO PE al 10% y 15%.

En la tabla 14 se identificó que a las dosificaciones del 10% y 15% de material EKO PE, los huacales cumplen en su totalidad con la prueba de plano inclinado especificado en la *N11011* [26] indicando que el empaque en este caso el huacal está apto para sufrir condiciones de impactos y golpes que se pueden generar durante el transporte y la manipulación del mismo.

4.5.7 Equipos empleados para mediciones mecánicas

Tabla 15.

Equipos De Mediciones Mecánicas

Equipo	Imagen	Descripción
		Equipo empleado para la medición de prueba de caída libre
EQUINEHY		Equipo empleado para prueba de compresión rápida y carga vertical
		Equipo empleado para la medición de la prueba de plano inclinado

Nota: Esta tabla muestra los diferentes equipos que fueron empleados para realizar las pruebas mecánicas en la empresa IBERPLAST S.A.S

5. ANÁLISIS DE COSTOS DE PRODUCCIÓN DE LA INCORPORACIÓN DEL MATERIAL EKO PE EN EL PROCESO DE INYECCIÓN DE HUACAL

En este apartado de capítulo se determinaron los costos de producción de la incorporación de material reciclado EKO PE. Este objetivo es de suma importancia ya que es allí donde se evalúa la rentabilidad del proyecto. Es importante mencionar que el costo de energía no es significativo puesto que tanto para la dosificación actual como para las dosificaciones al 10% y 15% con el material EKO PE, el ciclo de inyección es el mismo.

La relación de costos se hará para las dosificaciones:

➤ **Dosificación 1:**

- 15% material EKO PE.
- 50% PEAD recuperado de Iberplast.
- 35% PEAD original

➤ **Dosificación 2:**

- 10% material EKO PE.
- 50% PEAD recuperado de Iberplast.
- 40% PEAD original

Se evaluarán los costos de ambas dosificaciones debido a que éstas cumplieron con las pruebas mecánicas realizadas anteriormente.

5.1 Costos indirectos de fabricación

Son aquellos que se identifican como los costos indirectos durante una fabricación como mano de obra indirecta por lo cual son diferentes a los costos directos, algunos ejemplos de costos indirectos de fabricación son: materiales indirectos, servicios de luz y energía [43].

Los costos indirectos de fabricación del proyecto son:

- Tiempo de ciclo en segundos, el ciclo de inyección dura 68 segundos.
- Cavidades, el molde de inyección solo cuenta con 1 cavidad.

5.1.1 Cálculo del CIF

Se toman solamente como costos indirectos de fabricación el tiempo del ciclo, y el número de cavidades. En la tabla 16 se puede visualizar el valor obtenido de CIF. En donde se obtuvo un valor de 1,3333 lo cual indica el costo por minuto para la fabricación de un huacal relacionado con el rendimiento.

Tabla 16.

Cálculo del CIF

Datos	Descripción
68	Tiempo ciclo / Segundos
1	Cavidades
85%	Eficiencia
1,333	Min/Und/Persona (CIF)
45	Estándar / # Cavidades / 85%

Nota: Esta tabla muestra los resultados obtenidos de cálculo de los costos indirectos de fabricación.

5.2 Costo de huacal con dosificación actual

Actualmente para la producción de huacales se trabaja con una dosificación de 50% de PEAD original y 50% de molido de cajas. El polietileno de alta densidad recuperado tiene un valor alrededor de 2.500 COP/kg, el polietileno de alta densidad original tiene un valor de 4.500 COP/kg y se trabaja con un masterbatch azul el cual tiene un valor de 27 COP/g. Cabe mencionar que los costos mencionados fueron obtenidos a través de cotizaciones de empresas que manejan los mencionados materiales.

Tabla 17.

Análisis de costos actuales

FABRICACIÓN/CAJA (HUACAL) ACTUAL. 50% DE PEAD ORIGINAL Y 50% DE MOLIDO DE CAJAS					
DESCRIPCIÓN	CANT.	UM	PREC.	UM	TOTAL
POLIETILENO RECUPERADO ALTA INYECCIÓN.	1,125	g	\$ 2.500,00	kg	\$ 2.812,50
POLIETILENO ORIGINAL ALTA INYECCIÓN.	1,125	g	\$ 4.500,00	g	\$ 5.062,50
C.MASTERBATCH AZUL/PEAD.	20,25	g	\$ 27,00	g	\$ 546,75
CIF-Inyección/caja actual.	1,333	min	\$ 120,00	min	\$ 160,00
MOD-Inyección/caja actual.	1,333	min	\$ 300,00	min	\$ 400,00
					\$ 8.981,75

Nota: Esta tabla muestra los resultados obtenidos de cálculo de los costos actuales: Con la dosificación al 50% de PEAD original y 50% de molido de cajas

5.3 Costo de huacal con dosificación al 15% de material EKO PE

Para la dosificación de 50% de molido de cajas, 35% de PEAD original y 15% de material EKO PE, se definieron los siguientes precios. El polietileno de alta densidad recuperado tiene un valor alrededor de 2.500 COP/kg, el polietileno de alta densidad original tiene un valor de 4.500 COP/kg, el material EKO PE tiene un valor de 2.500 COP/kg y se trabaja con un masterbatch azul el cual tiene un valor de 27 COP/g. Se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 18.

Análisis de costos con dosificación al 15%

FABRICACIÓN/CAJA (HUACAL) ACTUAL. 50% DE MOLIDO DE CAJAS, 35% DE PEAD ORIGINAL Y 15% DE MATERIAL EKO PE							
DESCRIPCIÓN	CANT.	UM	CANT.	UM	PREC.	UM	TOTAL
POLIETILENO RECUPERADO ALTA INYECCIÓN.	1125	g	1,125	kg	\$ 2.500,00	kg	\$ 2.812,50
POLIETILENO ORIGINAL ALTA INYECCIÓN.	787,5	g	0,7875	kg	\$ 4.500,00	kg	\$ 3.543,75
POLIETILENO EKO.	337,5	g	0,3375	kg	\$ 2.500,00	kg	\$ 843,75
C.MASTERBATCH AZUL/PEAD.	20250,00	g	20,250	g	\$ 27,00	g	\$ 546,75
CIF-Inyección/caja actual.	1,333	min	1,333	min	\$ 120,00	min	\$ 160,00
MOD-Inyección/caja actual.	1,333	min	1,333	min	\$ 300,00	min	\$ 400,00
							\$ 8.306,75

Nota: Esta tabla muestra los resultados obtenidos de cálculo de los costos actuales: Con la dosificación al 35% de PEAD original, 50% de molido de cajas y 15% de material EKO PE.

5.4 Costo de huacal con dosificación al 10% de material EKO PE

Para la dosificación de 50% de molido de cajas, 40% de PEAD original y 10% de material EKO PE, se definieron los siguientes precios. El polietileno de alta densidad recuperado tiene un valor alrededor de 2.500 COP/kg, el polietileno de alta densidad original tiene un valor de 4.500 COP/kg, el material EKO PE tiene un valor de 2.500 COP/kg y se trabaja con un masterbatch azul el cual tiene un valor de 27 COP/g. Se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 19.

Análisis de costos con dosificación al 10%

FABRICACIÓN/CAJA (HUACAL) ACTUAL. 50% DE MOLIDO DE CAJAS, 40% DE PEAD ORIGINAL Y 10% DE MATERIAL EKO PE							
DESCRIPCIÓN	CANT.	UM	CANT.	UM	PREC.	UM	TOTAL
POLIETILENO RECUPERADO ALTA INYECCIÓN.	1125	g	1,125	kg	\$ 2.500,00	kg	\$ 2.812,50
POLIETILENO ORIGINAL ALTA INYECCIÓN.	900	g	0,9	kg	\$ 4.500,00	kg	\$ 4.050,00
POLIETILENO EKO.	225	g	0,225	kg	\$ 2.500,00	kg	\$ 562,50
C.MASTERBATCH AZUL/PEAD.	20250,00	g	20,250	g	\$ 27,00	g	\$ 546,75
CIF-Inyección/caja actual.	1,333	min	1,333	min	\$ 120,00	min	\$ 160,00
MOD-Inyección/caja actual.	1,333	min	1,333	min	\$ 300,00	min	\$ 400,00
							\$ 8.531,75

Nota: Esta tabla muestra los resultados obtenidos de cálculo de los costos actuales: Con la dosificación al 40% de PEAD original, 50% de molido de cajas y 10% de material EKO PE

5.5 Comparación de costos actual/propuesta

En la tabla 20 se puede visualizar los resultados finales de las dosificaciones actuales vs las propuestas al 15% y 10% respectivamente. Evidenciando que el que presenta una mayor variación en este caso de \$675 sobre el valor actual es el huacal a la dosificación del 15% de material EKO PE, por lo cual se valida que el proyecto tiene una alta rentabilidad económica.

Tabla 20.

Análisis de costos finales

Análisis de datos finales.	Variación \$
Tratamiento uno (1) (15%)	\$ 675,00
Tratamiento uno (2) (10%)	\$ 450,00

Nota: Esta tabla muestra el análisis de costos finales con la dosificación del 15% y 10% de material EKO PE

CONCLUSIONES

Se evaluó el material EKO PE a las dosificaciones del 10% y 15%, mediante la realización de pruebas experimentales en el proceso de inyección de huacales, obteniendo que ambas dosificaciones cumplen con las condiciones fisicoquímicas y mecánicas. Es posible que la empresa aumente la rentabilidad del proceso mencionado anteriormente al emplear una materia prima post consumo y post industria. Así mismo las organizaciones plásticas buscan la implementación de una economía circular en donde se busca reciclar, reutilizar y reducir en un círculo continuo.

Mediante una revisión bibliográfica se determinaron las siguientes propiedades fisicoquímicas y mecánicas del material EKO PE: Tiene una densidad similar a la del polietileno de alta densidad, lo cual indica que tiene estructuras muy ramificadas, y cuenta con una elevada dureza; sin embargo, tiene una baja resistencia a la elongación. Se validó que el material tiene una mayor viscosidad de fundido y menor permeabilidad dado que tiene índice de fluidez de 1.0-2.0g/10min. Se encuentra que el material cuenta con el tiempo necesario para que las fuerzas intermoleculares sean efectivas y no haya rotura del mismo, al tener una resistencia al impacto de 139 J/m.

Se ejecutó un desarrollo experimental del 10% y 15% de material EKO PE, obteniendo que la dosificación del 15% de material EKO PE es la que mejor se comporta para el proceso de inyección para la producción de huacales, debido a que este cumple con las características fisicoquímicas y mecánicas del mismo según la ficha técnica del huacal original.

El costo de producción proyectado al emplear la materia prima EKO PE con un dosificación del 15% es de 8.306,75 COP y al tomar la dosificación del 10% da una proyección de 8.531,75 COP. Obteniendo así una variación de \$675 y \$450 respectivamente frente a la dosificación con el material original. Estos resultados indican que el proyecto tendrá una alta productividad al utilizar una dosificación de material EKO PE del 15%.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] “¿En qué consiste el proceso de Peletización del plástico? | Gester.” <https://www.gester.es/en-que-consiste-el-proceso-de-peletizacion-del-plastico/> (accessed Nov. 29, 2020).
- [2] “¿Qué es Masterbatch? | Puromaster.” <http://www.puromaster.com/que-es-masterbatch/> (accessed Nov. 29, 2020).
- [3] EFE, “Colombia solo recicla el 17% de las 12 millones de toneladas de residuos sólidos | Economía | Portafolio,” Nov. 11, 2018. <https://www.portafolio.co/economia/colombia-solo-recicla-el-17-de-las-12-millones-de-toneladas-de-residuos-solidos-523236> (accessed Sep. 20, 2020).
- [4] Iberplast, “Quiénes somos | IberPlast.” <https://www.iberplast.com.co/quienes-somos> (accessed Nov. 28, 2020).
- [5] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, “Resolución 1407 de 2018.” http://www.andi.com.co/Uploads/RES_1407_DE_2018.pdf (accessed Feb. 01, 2021).
- [6] “ISO 14001 2015 gana peso - Nueva ISO 14001:2015.” <https://www.nueva-iso-14001.com/2015/10/la-norma-iso-14001-2015/> (accessed Feb. 01, 2021).
- [7] I. Carbajal Quezada, “Caracterización De Mezclas De Polietileno Virgen Con Reciclado,” 2016.
- [8] J. Z. Gutiérrez, “MODELADO Y SIMULACIÓN DE UN PROCESO DE DESPOLIMERIZACIÓN VÍA PIRÓLISIS CATALÍTICA: POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (PEAD).,” [Online]. Available: https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/327/1/Tesis_MTP_Jesus_Zavala.pdf.
- [9] Mariano, “Polietileno de alta densidad | Tecnología de los Plásticos,” Jun. 01, 2011. <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/polietileno-de-alta-densidad.html> (accessed Sep. 20, 2020).
- [10] S. L. JUBEDI, “LDPE (Polietileno baja densidad).”
- [11] ANGÉLICA PATRICIA MORENO CORIA, “‘CARACTERIZACIÓN DE RAMIFICACIONES DE CADENA CORTA Y LARGA EN POLIETILENO’ CASO

DE ESTUDIO PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE: ESPECIALIZACIÓN DE QUÍMICA APLICADA OPCION: QUIMICA ANALÍTICA PRESENTA: ANGÉLICA PATRICIA MORENO CORIA 'RECIBIDQ,' 2006.

- [12] Sistemas, "Fluido No Newtoniano: ¿Qué es y características? - Blog de Tecnicoo," 2018. <https://tecnicoo.es/blog/fluido-no-newtoniano/> (accessed Oct. 17, 2020).
- [13] ANIQ, "Análisis de Ciclo de Vida de envases de PEAD."
- [14] C. De Estudio and E. A. Blanco, "SIMULACION DEL PROCESO DE PRODUCCION DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (PEAD) MEDIANTE EL PROCESO SLURRY PRESENTA," 2007.
- [15] IBERDROLA, "Ecodiseño: Qué es, Ventajas y Ejemplos - Iberdrola." <https://www.iberdrola.com/compromiso-social/ecodiseno-productos-sostenibles> (accessed Nov. 28, 2020).
- [16] F. den Hond, "Book review: DRIVING ECO-INNOVATION; A BREAKTHROUGH DISCIPLINE FOR INNOVATION AND SUSTAINABILITY by Claude Fussler with Peter James, 1996. Pitman Publishing, xx + 364 pp, £45.00 (hbk), ISBN 0 273 62207 2," *Bus. Strateg. Environ.*, vol. 6, no. 5, pp. 297–297, Nov. 1997, doi: 10.1002/(sici)1099-0836(199711)6:5<297::aid-bse128>3.0.co;2-r.
- [17] A. Durán Moreno and C. Gutiérrez Palacios, "UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO."
- [18] M. H. Tascón *et al.*, "Perfilar 200 empresas transformadores e Plástico posconsumo en Bogotá."
- [19] "Notícia 9 preguntas sobre el reciclaje químico - Chemical News detail." <http://www.equiplast.com/chemical-news-detail/-/noticias/detalle/13735530/noticia-9-preguntas-sobre-el-reciclaje-quimico> (accessed Feb. 02, 2021).
- [20] MC. Adrián Méndez Prieto, Ing. Rodrigo Cedillo García, and L.C.Q María Concepción, "Cómo separar los plásticos para su reciclado | Plastics Technology México." <https://www.pt-mexico.com/articulos/cómo-separar-los-plsticos-para-su-reciclado> (accessed Nov. 28, 2020).
- [21] L. A. H. Sànchez, "Diseño y puesta en marcha de un procedimiento para

- certificación de líquidos como patrones de densidad mediante el empleo del método de pesadas hidrostáticas, utilizando un sólido patrón de masa y volumen conocidos,” 2014.
- [22] Plastics Technology MÉXICO, “Rendimiento del polietileno: la densidad sí importa: Plastics Technology México,” Mar. 01, 2016. <https://www.pt-mexico.com/columnas/rendimiento-del-polietileno-la-densidad-s-importa> (accessed Sep. 20, 2020).
- [23] ENKA DE COLOMBIA, “Ficha técnica EKO PE - Gránulo Reciclado.”
- [24] Leandro Henriquez, “Importancia del índice de fluidez en la producción de polietileno de alta densidad. — Steemit,” 2017. <https://steemit.com/stem-espanol/@lhenriquez13/importancia-del-indice-de-fluidez-en-la-produccion-de-polietileno-de-alta-densidad> (accessed Sep. 20, 2020).
- [25] Todo en Polímeros, “La Resistencia al Impacto,” Jan. 04, 2017. <https://todoenpolimeros.com/2017/01/04/la-resistencia-al-impacto/> (accessed Sep. 20, 2020).
- [26] IBERPLAST S.A.S., “NI 11011 - Norma Interna.” Accessed: Feb. 03, 2021. [Online]. Available: <https://mail.google.com/mail/u/1/#search/geraldine/FMfcgxwJWvxQNzthISgPQZrnsBzhdkdG?projector=1&messagePartId=0.1>.
- [27] “Problemas en la inyección de plásticos y cómo evitarlos.” <https://plastic85.com/problemas-en-la-inyeccion-de-plasticos-y-como-evitarlos/> (accessed Feb. 03, 2021).
- [28] D. C. M. S. y C. Andrés, *Estudio de factibilidad para la creación de una planta de fabricación de hilos y madera a base plástico*, vol. 53, no. 9. 2019.
- [29] IBERPLAST S.A.S, “Procedimiento operativo, de inspección y control del proceso inyección de polietileno de alta y baja densidad en las máquinas Krauss Maffei, Toshiba y MIR - No 44010.”
- [30] ZwickRoell, “Determinación del índice de fluidez.” <https://www.zwickroell.com/es-es/plásticos/termoplásticos-y-materiales-termoendurecibles/determinación-del-índice-de-fluidez-iso-1133> (accessed Sep. 20, 2020).
- [31] “ASTM D1238 Meltflow Rates of Thermoplastics by Extrusion Plastometer -

- Instron.” <https://www.instron.com.ar/es-ar/testing-solutions/by-test-type/rheology/astm-d1238> (accessed Jan. 06, 2021).
- [32] Biesterfeld Ibérica, “Índice de fluidez, su importancia real - Plástico,” Sep. 12, 2017. <https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/193925-Indice-de-fluidez-su-importancia-real.html> (accessed Sep. 20, 2020).
- [33] “MFI índice de flujo de fusión - Polimeros termoplasticos, elastomeros y aditivos.” <https://www.mexpolimeros.com/mfi.html> (accessed Jan. 06, 2021).
- [34] N. G. Méndez and I. A. Rigai, “ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción “Estudio de las Propiedades Mecánicas y Reológicas del Polietileno de Alta Densidad y Antioxidante en Base de Fosfitos Durante Cinco Ciclos de Inyección,” 2009.
- [35] Dynisco Plastics, “Sensores, controles y analizadores,” vol. 2, p. 23, 2006.
- [36] IBERPLAST S.A.S., “Ficha técnica huacal para Botellon de 20 Litros.”
- [37] “Media (promedio o media aritmética).” <https://www.universoformulas.com/estadistica/descriptiva/media/> (accessed Feb. 03, 2021).
- [38] “Calcular la desviación estándar paso a paso (artículo) | Khan Academy.” <https://es.khanacademy.org/math/statistics-probability/summarizing-quantitative-data/variance-standard-deviation-population/a/calculating-standard-deviation-step-by-step> (accessed Feb. 03, 2021).
- [39] “INYECCION DE MATERIALES PLASTICOS II | Tecnología de los Plásticos.” <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/inyeccion-de-materiales-plasticos-ii.html> (accessed Feb. 02, 2021).
- [40] DIANA JANETH ARCHILA GONZALEZ and GLORIA CONSUELO FIGUEROA PARRA, “ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA AL CORTE, TRACCIÓN, FLEXIÓN Y,” Bogota, 2017.
- [41] A. O. Team, “Prueba de caída de contenedores (cajas), ASTM D5276 | AQF.” <https://blog.asiaqualityfocus.com/es/prueba-de-caida-de-contenedores-cajas-astm-d5276/> (accessed Oct. 30, 2020).
- [42] S. Load, “Test de impacto inclinado: todo lo que necesitas saber - Safe Load

Testing Technologies.” <https://www.safeloadtesting.com/es/test-impacto-inclinado/> (accessed Oct. 30, 2020).

- [43] Universidad Militar Nueva Granada, “COSTOS INDIRECTOS DE FRABICACIÓN.”

http://virtual.umng.edu.co/distancia/ecosistema/odin/odin_desktop.php?path=Li4vb3Zhcy9hZG1pbmlzdHJhY2lvbl9lbXBvZXNhcy9jb250YWJpbGlkYWRFZGVfY29zdG9zL3VuaWRhZWF80Lw==#slide_2 (accessed Nov. 10, 2020).

- [44] “FT-GC-033 POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD-FORMOLENE HDPE 5502B
Página 1 DE 2 COMERCIALIZADO POR: MANUCHAR COLOMBIA CIA SAS
DIRECCIÓN: KM 3.3 VIA SIBERIA FUNZA BODEGA 9 A Y 10 A,” 2013.

ANEXOS

ANEXO A - FICHA TECNICA DEL POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD

Figura 18.

Ficha técnica del polietileno de alta densidad

	FT-GC-033 POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD - FORMOLENE HDPE 5502B	Versión 0 11-Oct-2013 Página 1 DE 2								
COMERCIALIZADO POR: MANUCHAR COLOMBIA CIA SAS DIRECCIÓN: KM 3.3 VIA SIBERIA FUNZA BODEGA 9 A Y 10 A TELÉFONO: 57- 1- 8219060 ext 61/62/63/64/65 FAX: 57- 1- 8219066										
1. INFORMACIÓN DEL PRODUCTO										
Nombre Comercial Familia Química: Sinónimos: Formula química. Composición: Rotulo NFPA	Polietileno de Alta Densidad - Formolene HDPE 5502B Polímero Copolímero de polietileno-hexeno de alta densidad, copolímero de etileno-hexeno HDPE. $(C_2H_4)_n + (C_6H_{12})_x$ 99.5% 	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="background-color: #0000FF; color: white; padding: 2px;">Salud</td> <td style="padding: 2px;">0 Sin riesgo</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #FF0000; color: white; padding: 2px;">Fuego</td> <td style="padding: 2px;">1 Inflamable (arde a más de 93°C)</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #FFFF00; padding: 2px;">Reactividad</td> <td style="padding: 2px;">0 No reactivo</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Específico</td> <td style="padding: 2px;">Ninguno</td> </tr> </table>	Salud	0 Sin riesgo	Fuego	1 Inflamable (arde a más de 93°C)	Reactividad	0 No reactivo	Específico	Ninguno
Salud	0 Sin riesgo									
Fuego	1 Inflamable (arde a más de 93°C)									
Reactividad	0 No reactivo									
Específico	Ninguno									
Número UN Características Importantes	No Aplica Hace parte de "Polímeros Olefinicos" cumple con la regulación para uso en plásticos y empaques para alimentos sólidos.									
2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS										
PROPIEDAD	RESULTADO	NORMA ASTM								
Apariencia	Pellets, Blanco traslúcido.	-----								
Índice de Fluidez (190 °C; 2,16Kgf)	0,35 g/10min	D1238								
Densidad	0,955 g/cc	D1505								
Resistencia (ESCR)										
Condición A, F50 (100% Igepal)	45 h 35 h	D1693 D1693								
Condición B, F50										

POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD - FORMOLENE HDPE 5502B	CODIGO: FT-GC-033	VERSIÓN: 0	PAGINA: 2 de 2
Resistencia a la tracción en la fluencia.	4000 psi	D638 (50 mm/min, IV)	
Elongación en la ruptura	> 600%	D638 (50 mm/min, IV)	
Temperatura de fragilidad al impacto	< - 118 °C	D746	
Módulo de elasticidad	200.000 psi	D790	
Aditivos	No Aplica		
3. APLICACIONES			
<p>Diseñado para aplicaciones que requieren excelentes propiedades de resistencia al agrietamiento por estrés y la rigidez. Puede ser utilizado como una resina de moldeo por soplado de propósito general o de extrusión de láminas de resina termoformado.</p>			
4. PRECAUCIONES Y ADVERTENCIAS			
<p>La exposición a temperaturas elevadas puede originar la descomposición del producto. Durante un incendio, el humo puede contener el material original junto a productos de la combustión de composición variada que pueden ser tóxicos y/o irritantes. Los productos de la combustión pueden incluir, pero no exclusivamente: Monóxido de carbono. Dióxido de carbono (CO2). El producto se suministra en forma de pellets. Sin embargo, si el producto se muele, el polvo puede formar una atmósfera explosiva cuando se dispersa en el aire.</p>			
5. EMPAQUE Y ALMACENAMIENTO			
<p>Usar con ventilación adecuada. Evitar la producción de polvo. Evitar el contacto con ojos y piel. Se debe eliminar el polvo acumulado en las áreas donde se asienta. Almacenar en un área o silo fresco, seco, bien ventilado, lejos de fuentes de calor, llamas o chispas. Ventilar las áreas de almacenamiento cerradas, tales como furgones y vagones de tren, antes de ingresar a ellas. Tener a mano el equipo de emergencia para incendios y derrames. Se puede empaquetar en bolsa de plástico tejido de 25 kg o según requerimientos del cliente.</p>			
6. NOTA IMPORTANTE			
<p>Hasta donde es nuestro conocimiento, la información que aquí se proporciona, es correcta y se da buena fe de ella, sin embargo Manuchar Colombia CIA SAS no se responsabiliza en caso de que esta información fuese defectuosa o incompleta. La información relacionada con este producto puede no ser válida si éste es usado en combinación con otros materiales o en otros procesos. Es responsabilidad del usuario la interpretación y aplicación de esta información para su uso particular, además la información contenida en esta ficha técnica solo significa una descripción de las medidas de seguridad del producto y no hay que considerarla como una garantía de sus propiedades. Aunque aquí se describen algunos riesgos, no garantizamos que sean los únicos que existen.</p>			

Nota: La figura representa la ficha técnica *del polietileno de alta densidad* [44].

ANEXO B- RECOMENDACIONES

- Se recomienda que al iniciar el proceso de producción con el material EKO PE se realice un ciclo de purga, esto con el fin de evitar posibles residuos de material que pueden quedarse internamente durante la maquina a emplear.
- Se recomienda no exceder en alta medida la dosificación del material EKO PE debido a que sus propiedades fisicoquímicas pueden llegar a verse afectadas de forma adversa generando que el huacal no cumpla con las propiedades mecánicas del mismo.
- Para futuras investigaciones se recomienda realizar un desarrollo experimental a mayores dosificaciones para determinar la incidencia de las variables de proceso en la calidad de un huacal