

Implementación De Línea De Producción De Cubiertas En Plástico Reciclado En La Fundación
Ecomayo

Carlos Andrés Guerrero Delgado

Universidad del Valle
Facultad de Artes integradas
Diseño Industrial
Santiago de Cali
2/02/2026

Implementación De Línea De Producción De Cubiertas En Plástico Reciclado En La
Fundación Ecomayo

Proyecto de grado, Diseño industrial

Carlos Andrés Guerrero Delgado

Docente

Byron Iram Villamil Villar

Universidad del Valle

Facultad de Artes Integradas

Diseño Industrial

Santiago de Cali

2/02/2026

Resumen

El presente proyecto aborda la problemática de la gestión ineficiente de residuos plásticos en el municipio de La Cruz, Nariño, proponiendo una solución desde el diseño industrial y la economía circular. En colaboración con la Fundación Ecomayo, se desarrolla una línea de producción para la fabricación de cubiertas trapezoidales utilizando Polietileno de Alta y Baja Densidad (HDPE/LDPE) 100% reciclado.

La metodología abarcó desde la caracterización del material mediante ensayos mecánicos de compresión y flexión, determinando una mezcla que ofrece el equilibrio óptimo entre resistencia y flexibilidad. Se diseña y fabrica un herramental específico molde y boquilla de extrusión compatible con la maquinaria existente en la fundación. El resultado es una cubierta de 1150 x 1070 mm, con un peso de 7.5 kg (36% más ligera que la tradicional) y un costo de fabricación de \$12.354 COP, ofreciendo una alternativa competitiva y sostenible para la construcción tanto rural como urbana. El proyecto demuestra que es técnicamente viable transformar pasivos ambientales en activos sociales y económicos para la región.

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	8
2. Planteamiento	9
2.1. Contexto general.....	9
2.2. Contexto específico.....	10
2.3. Fundación Ecomayo	12
3. Formulación de problema	13
4. Justificación.....	14
5. Marco referencial	16
5.1. Medio ambiente	16
5.2. Contaminación ambiental	16
5.3. Objetivos de desarrollo sostenible.....	17
5.4. Economía circular	19
5.5. Plásticos	20
5.6. Generación de Residuos Plásticos	21
5.7. Aprovechamiento de los residuos poliméricos.....	22
5.8. Clasificación de polímeros reciclables.	24
6. Estado del arte	26
7. Marco normativo	27
8. Estado de la técnica.....	31
9. Trabajo de campo	35

10.	Objetivos	42
10.1.	Objetivo general.....	42
10.2.	Objetivos específicos	42
11.	Estrategias para la evaluación de alternativas.....	43
11.1.	Definición de Objetivos Principales	43
11.2.	Matriz de Enfrentamiento de Objetivos	44
11.3.	Requerimientos y Determinantes por Objetivo	46
11.4.	Escalas de Valor para Cada Requerimiento	46
12.	Metodología	50
12.1.	Definición del Problema.....	50
12.2.	Recopilación de Datos.....	50
12.3.	Análisis del Problema	50
12.4.	Creatividad	51
12.5.	Diseño y Desarrollo.....	51
12.6.	Construcción del Prototipo.....	52
12.7.	Pruebas y Verificación	52
12.8.	Solución Final.....	53
13.	Pruebas mecánicas.	53
13.1.	Compresión.....	54
13.2.	flexión	56
13.3.	Prueba de estabilidad térmica	58

14.	Desarrollo de la Propuesta de Diseño y Prototipado	59
•	Concepto y configuración formal.....	59
15.	Prototipado de propuesta.	67
16.	Evaluación y Validación de la Propuesta Final	72
17.	Conclusiones.....	75
18.	Anexos	77
19.	Referencias	77

Índice de ilustraciones

Ilustración 1	Ubicación geográfica, La Cruz Nariño	11
Ilustración 2	El clima y el tiempo promedio en todo el año en La Cruz.....	11
Ilustración 3	Objetivos de desarrollo sostenible	18
Ilustración 4	<i>Modelos de Economía circular</i>	20
Ilustración 5	Registro anual de aprovechamiento de residuos sólidos domiciliarios en Santiago de Cali.....	23
Ilustración 6	Publicidad Bioestibas	33
Ilustración 7	Tipo de Maquinaria Precious Plastic.....	34
Ilustración 8	productos ofrecidos por la fundación Ecomayo.	37
Ilustración 9	Maquinaria Ecomayo.	38
Ilustración 10	Flujograma línea de producción	40
Ilustración 11	Flujograma fases del proyecto	40
Ilustración 12	<i>Prueba de compresión</i>	56
Ilustración 13	<i>Prueba a flexión</i>	57

Ilustración 14 <i>Prueba de estabilidad térmica</i>	59
Ilustración 15 <i>Modelo 3D de la propuesta</i>	60
Ilustración 16 <i>Plano técnico general</i>	61
Ilustración 17 <i>Forma de ensamblaje</i>	63
Ilustración 18 <i>medidas de encaje</i>	63
Ilustración 19 <i>Simulación de esfuerzos</i>	64
Ilustración 20 <i>Sistema de almacenamiento y transporte</i>	65
Ilustración 21 <i>Molde de compactación</i>	68
Ilustración 22 <i>Boquilla de Salida de Material</i>	69
Ilustración 23 <i>Pruebas de manufactura y validación</i>	70
Ilustración 24 <i>Pruebas auxiliares</i>	72

Índice de tablas

Tabla 1 Disposición de plástico según municipio	13
Tabla 2 Identificación de plásticos en productos terminados.	24
Tabla 3 <i>Listado de productos ofrecido por la empresa, con sus características</i>	36
Tabla 4 Lista de maquinaria disponible en la planta de transformación Fundación Ecomayo	38
Tabla 5 Definición de Objetivos Principales.....	44
Tabla 6 Matriz de Enfrentamiento de Objetivos.....	45
Tabla 7 Requerimientos y Determinantes por Objetivo	46
Tabla 8 <i>Resultados ensayo de compresión</i>	55
Tabla 9 <i>Resultados ensayo de flexión</i>	56
Tabla 10 <i>Análisis de Costos</i>	66
Tabla 11 <i>Matriz Evaluativa</i>	73

1. INTRODUCCIÓN

La gestión inadecuada de los residuos plásticos constituye uno de los desafíos ambientales y sociales más complejos en la actualidad. Esta problemática se intensifica en algunos municipios de Colombia, donde la infraestructura logística para la disposición final y el aprovechamiento es limitada. Al mismo tiempo, las viviendas en zonas rurales del país exigen el desarrollo de soluciones constructivas que sean duraderas, económicamente accesibles y adaptadas al contexto local. Al cruzar estas dos problemáticas surge la oportunidad de instrumentar la Economía Circular como un método de desarrollo sostenible.

El presente proyecto centra su intervención en el municipio de La Cruz, Nariño, un territorio que genera un gran volumen de residuos plásticos sin contar con un sistema de recuperación eficiente. En el municipio opera la Fundación Ecomayo, empresa que ha logrado establecer una capacidad instalada básica de transformación mediante maquinaria de extrusión, pero que enfrenta la necesidad de desarrollar un producto de alta demanda que aumente su impacto ambiental positivo.

Como respuesta a esta necesidad, este trabajo plantea el diseño y la implementación de una línea de producción para la fabricación de cubiertas rígidas de perfil trapezoidal. La propuesta utiliza como materia prima una mezcla aglutinada de Polietileno de Alta Densidad y Baja Densidad recuperada en la región. El alcance del proyecto va más allá de la definición formal del objeto, busca la validación técnica para fabricar un producto de construcción funcional y seguro bajo restricciones de recursos.

La metodología planteada adopta una secuencia de pasos, iniciando con la caracterización del material reciclado, mediante ensayos de compresión y flexión. Posteriormente, se procede a la simulación digital bajo cargas de servicio y al diseño y fabricación de herramientas específicas, asegurando su compatibilidad con la maquinaria existente en la fundación.

este documento esta estructurado para guiar al lector a través de este proceso investigativo y proyectual. Inicia con la contextualización de la problemática y los fundamentos teóricos, avanza hacia la fase experimental de materiales y el desarrollo de la propuesta de diseño, y culmina con la validación física de los prototipos, el análisis de costos y las estrategias de implementación. Los resultados obtenidos evidencian la viabilidad de transformar pasivos ambientales en activos constructivos, presentando una solución que resulta económicamente competitiva frente a las alternativas tradicionales y que materializa el cierre del ciclo del plástico con un beneficio social.

2. Planteamiento.

2.1. Contexto general.

Desde su invención a principios del siglo XIX, el plástico se ha convertido en un material indispensable en la vida moderna. Su versatilidad, bajo costo de producción y durabilidad han permitido su uso en una amplia gama de aplicaciones, desde envases y utensilios hasta componentes industriales y tecnológicos. Sin embargo, estas mismas propiedades que han impulsado su popularidad también han generado una crisis ambiental global. (Naeco, 2023)

La producción de plásticos se incrementó exponencialmente, reemplazando materiales tradicionales como el vidrio, la madera y el metal en muchas de las industrias. Con el crecimiento de la sociedad de consumo y el modelo de producción masiva, los plásticos desechables se convirtieron en un problema significativo, ya que su degradación en el medio ambiente puede tardar siglos. (Naeco, 2023)

Uno de los principales desafíos del plástico es su mala gestión como residuo. A nivel mundial, se estima que solo un pequeño porcentaje del plástico producido se recicla de manera

efectiva, mientras que el resto termina en rellenos sanitarios, cuerpos de agua o se descompone en micro plásticos que afectan la fauna y flora. (Lett, 2014)

Además del impacto ecológico, la producción de plásticos contribuye significativamente a la contaminación del aire y al cambio climático. La fabricación de polímeros plásticos requiere derivados del petróleo y procesos industriales de alta demanda energética, generando emisiones de gases de efecto invernadero.

El uso irresponsable del plástico y la falta de estrategias efectivas de reciclaje han llevado a la necesidad urgente de desarrollar soluciones sostenibles. La reutilización de plásticos, la reducción en su consumo y la implementación de modelos de economía circular son claves para mitigar su impacto negativo

2.2. Contexto específico.

En el año 2023 se reportaron en Colombia la generación de 11.803.407,29 toneladas de desechos sólidos dispuestos de forma autorizada y no autorizada, a los que se le aplicaron distintos métodos de disposición, tales como disposición a cielo abierto, quema, enterramiento y plantas de tratamiento (SuperServicios, 2024), de los cuales 700.500 corresponden a plásticos (envases y empaques) de los que el 30% son aprovechados para la creación de nuevos productos (WWF Colombia, 2023).

Dentro del contexto nacional, el departamento de Nariño representa particularidades relevantes para este proyecto. Este departamento se encuentra ubicado en el suroccidente colombiano, esta región cuenta con gran riqueza cultural, natural y productiva. Su geografía es muy variada, tiene zonas montañosas, costeras y rurales que brinda diversidad cultural. El departamento enfrenta problemas ambientales y de manejo de residuos. Lo que a largo plazo puede empañar su gran vocación agrícola, artesanal e industrial emergente.

El actual caso de estudio se centra en el municipio de la Cruz ubicado en el departamento del norte de Nariño, con una extensión de 239,362 kilómetros cuadrados y está ubicado sobre la vertiente nororiental del nudo de los Pastos y en la cordillera oriental, a 103 kilómetros al noreste de la capital del departamento y con una altitud media de 2370 m s. n. m.

La población total está formada por aproximadamente 18.292 habitantes, de los cuales 8398 habitan el casco urbano. (Ruano, 2024)

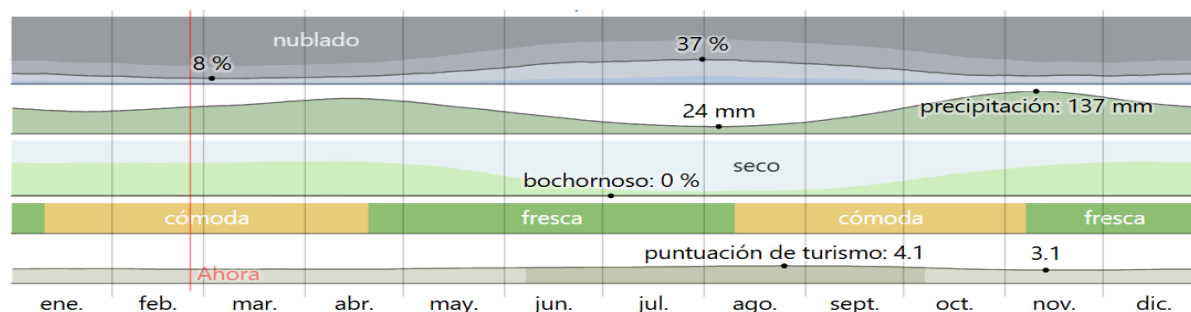
Ilustración 1 Ubicación geográfica, La Cruz Nariño



Fuente: Esquema de Ordenamiento Territorial EOT 2003

Por otra parte, su clima se caracteriza por ser diverso y cambiante lo que lleva su temperatura media anual a 20 grados Celsius y su precipitación media anual a 1645 milímetros

Ilustración 2 El clima y el tiempo promedio en todo el año en La Cruz



Fuente: [Weather Spark](#)

El municipio se destaca por sus impresionantes paisajes, diversas atracciones turísticas y una rica gastronomía. Estas características son motivos suficientes para fomentar la conservación del medio ambiente y preservar su belleza natural. Sin embargo, se observan deficiencias en la cultura del cuidado ambiental al no practicar el reciclaje desde su origen y, cuando se lleva a cabo, no se realiza de manera adecuada. Esta situación ha conducido a un aumento significativo de desechos que son depositados a cielo abierto.

La economía del territorio está relacionada con la agricultura, la ganadería, las artesanías, la construcción, la carpintería y el comercio. Es importante destacar que la informalidad en las actividades laborales alcanza el 85%, una situación que se origina en la escasez de oportunidades laborales que cumplan con los requisitos legales y ofrezcan los beneficios y protecciones sociales establecidos por la ley. (Ruano, 2024)

2.3. Fundación Ecomayo

La Fundación sin ánimo de lucro está legalmente constituida ante los entes gubernamentales y de control, se ubicada a 1 km del casco urbano del municipio de La Cruz, dedicada a la transformación de plásticos reciclados, específicamente polietileno de alta y baja densidad, convirtiéndolos en productos principalmente dirigidos al sector agrícola. Entre estos productos se encuentran postes para cercado y siembra, adoquines, bloques para construcciones no residenciales, entre otros. ECOMAYO es la única entidad generadora de empleo que tiene como enfoque principal las prácticas de conservación ambiental, la producción y consumos responsables, promotora igualmente del cuidado de los recursos naturales. (Alcaldía de La Cruz, Nariño, 2020)

Cómo se menciona anteriormente la principal materia prima para la transformación en nuevos productos en la fundación ECOMAYO es el HDPE y el LDPE lo que sugiere profundizar sobre su caracterización y propiedades.

Recientemente, la Fundación estableció una Asociación Público-Privada (APP) con la Gobernación de Nariño firmando el convenio interadministrativo No. 405924, que dispuso recursos para maquinaria e infraestructura. Esta colaboración también amplió significativamente su zona de recolección de materia prima, abarcando municipios vecinos como San Pablo, Génova y Belén, entre otros municipios del norte de Nariño. Con estas iniciativas, se espera asegurar una operación continua de la planta de transformación, lo que a su vez generará empleos y contribuirá al desarrollo social. (Nariño, 2025)

3. Formulación de problema.

En el municipio de La Cruz, Nariño, la gestión ineficiente de residuos plásticos ha generado una acumulación significativa de desechos, según (Domiciliarios, 2023) en el año 2021 el municipio reportó la disposición de 1,810.24 toneladas de desechos sólidos sin clasificación impactando negativamente el medio ambiente y desaprovechando materia prima con potencial de reutilización. La escasa concientización en la comunidad ha llevado a que una gran cantidad de plástico termine en rellenos sanitarios o en disposición inadecuada.

Tabla 1 Disposición de plástico según municipio

MUNICIPIO	KILOGRAMO /KILOS/MES	CANTIDAD DE KILOS GENERADOS DÍA/KILOS	CANTIDAD DE KILOS UTILIZABLES/ DÍA 70%	CANTIDAD DE KILOS UTILIZABLES/MES 70%	CANTIDAD DE KILOS UTILIZABLES /AÑO
BELÉN	2.700	63	44	1.890	22680
LA CRUZ	15.534	360	252	10.874	130485,6
LA UNIÓN	20.430	470	329	14.301	171612
SAN BERNARDO	4.600	100	70	3.220	38640
SAN PABLO	8400	190	133	5.880	70560
GÉNOVA	2.800	60	42	1.960	23520
TOTAL	54.464	1.810	1.267	38.125	457497,6

(Administración Municipal de La Cruz, comunicación personal, 2024)

A pesar de que la Fundación ECOMAYO cuenta con maquinaria y experiencia en la transformación de plástico reciclado, su producción actual se centra en postes, adoquines y otros productos dirigidos al sector agrícolas. La posibilidad de ampliar su línea de productos hacia la fabricación de cubiertas plásticas surge como una alternativa para incrementar el aprovechamiento del polietileno de alta y baja densidad. Sin embargo, esta iniciativa enfrenta desafíos en términos de viabilidad técnica, cumplimiento normativo y aceptación en el mercado.

En este contexto, surgen las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Qué ventajas y desventajas técnicas presenta el uso de HDPE y LDPE en la fabricación de cubiertas plásticas?
- ¿Cómo estructurar un sistema de producción que garantice la calidad, sostenibilidad y viabilidad de las cubiertas plásticas recicladas?
- ¿Qué impacto tendría la implementación de esta línea de producción en la comunidad y en la reducción de residuos plásticos?

4. Justificación

La emergencia ambiental por la contaminación en la producción, uso y disposición final de productos plásticos exige soluciones innovadoras. Según el PNUMA (2023), solo el 9% de los residuos plásticos a nivel mundial son sometidos a un proceso de reciclaje, mientras que en Colombia el 70% de los empaques y envases plásticos terminan en entornos naturales o dispuestos en rellenos sanitarios. Basándose en el caso de estudio en La Cruz Nariño, se reportó una disposición de 1.810,24 toneladas de residuos sólidos sin clasificación en el año 2021 (Domiciliarios, 2023) de cuales 130485,6 kg equivalen a plástico reutilizable información presentada por la empresa prestadora del servicio público acueducto alcantarillado y aseo del municipio. Estas cifras evidencian la urgencia de crear procesos y estrategias de aprovechamiento de residuos plásticos para transformarlos en nuevos productos, reduciendo

así la contaminación y evitando la degradación en micro plásticos. De igual manera, disminuye la huella de carbono al minimizar la demanda de plástico virgen, cuya producción, basada en hidrocarburos, emite gases de efecto invernadero.

Además, el proyecto busca alinearse con el Pacto por los Plásticos en Colombia y la Ley 2232 de 2022, que promueven la reducción de residuos plásticos y su reintegración en ciclos productivos. Desde el punto de vista socioeconómico, podemos evidenciar que en el municipio de La Cruz Nariño la informalidad laboral equivale al 85% (Ruano, 2024) y se encuentra bajo desarrollo industrial. La Fundación Ecomayo es la única entidad encargada del reciclaje y la creación de nuevos productos usando plástico reciclado.

Al implementar el presente proyecto, se planea potenciar la generación de nuevos empleos en las fases de recolección, procesamiento y fabricación de nuevos productos. De la misma forma, se busca fortalecer la economía circular; al convertir residuos en nuevos productos, se dinamiza el mercado local y se conecta directamente con el sector agrícola, ganadero y de construcción, ofreciendo productos con precios asequibles y de larga duración.

Teniendo en cuenta que la empresa Ecomayo cuenta con experiencia previa en la transformación de plástico reciclado en nuevos productos, se realizará la implementación de nuevos productos que amplíen su portafolio y, de la misma manera, la entrada de ingresos económicos que permiten la normal operación. La tecnología ya probada, como lo es el reciclado mecánico y la reciente obtención de maquinaria especializada, impulsa la innovación en procesos para lograr eficiencia y eficacia en la creación de nuevos productos.

En conclusión, este proyecto no solo tiene como objetivo mitigar la emergencia ambiental que actualmente se presenta, sino que impulsa el desarrollo social y económico en el municipio, bajo un modelo replicable y escalable. La ejecución de este proyecto reducirá residuos plásticos, creará empleos formales, promoverá industrias verdes y cumplirá con los ODS 8, 9, 12 y 13.

5. Marco referencial

5.1. Medio ambiente

El medio ambiente se define como un entorno vital en constante evolución y transformación, que comprende recursos no renovables y componentes físicos y naturales tales como el aire, el agua, el suelo, la flora y la fauna. También se contempla el tema social, influenciado por aspectos como la salud, calidad de vida, la dinámica poblacional; además de lo cultural que incluye el patrimonio histórico, valores estéticos, legado cultural, y otros relacionados que buscan formar una armonía. La concepción moderna de medio ambiente destaca la influencia de las actividades humanas en todos los niveles, especialmente económicos. (Fernandez Cuesta & Cabezas Ares, 2002).

La definición planteada destaca la polémica discutida en el artículo “Unas definiciones polémicas: medio ambiente y gasto ambiental”, donde se critica la simplificación del medio ambiente a una concepción meramente "natural" en actores como la Unión Europea, desestimando las dimensiones sociales y culturales involucradas.

5.2. Contaminación ambiental

El medio ambiente y su relación con la salud humana crea un desafío social y ético de importancia global, especialmente en el contexto donde el desarrollo económico no es equitativo y el uso de recursos naturales no cuenta con un control estatal. (Rodríguez Morales, 2011) enfatizan que el deterioro ecológico se debe al abuso del modelo de consumo de países industrialmente avanzados, esto impacta directamente a las naciones en vías de desarrollo, también aumenta la desigualdad e influye directamente en la sociedad. Según los autores, los fenómenos como la contaminación del aire, el agua y el suelo está asociada con enfermedades

respiratorias, los síndromes de diarrea y los trastornos mentales afectando principalmente niños, ancianos y la sociedad de pobreza extrema. (Rodríguez Morales, 2011)

La educación ambiental se muestra como el principal medio para promover valores éticos para la sostenibilidad y la responsabilidad colectiva. Los autores enfatizan en la necesidad de integrar la ética civil sobre la base de la solidaridad, el respeto por la biodiversidad y el ámbito social, como se propuso en la *Carta de la Tierra* (Rodríguez Morales, 2011). Además, enfatizan en el papel del gobierno progresivo en la promoción de la política, que equilibra el desarrollo económico y la preservación, tomando como ejemplo de ratificación de Cuba como un programa internacional de acuerdo y reducción.

Este enfoque refuerza la urgencia de un modelo alternativo para el capitalismo depredador, donde la colaboración global y la educación ambiental permanente son columnas vitales para garantizar la supervivencia y la integridad ecológica de las personas (Rodríguez Morales, 2011).

5.3. Objetivos de desarrollo sostenible

La ONU define el concepto de desarrollo sostenible como "el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades." En 2015, se adoptaron 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) con la meta de erradicar la pobreza, proteger el planeta y garantizar que todas las personas gocen de paz y prosperidad para el año 2030. Estos objetivos buscan equilibrar la sostenibilidad social, económica y ambiental. (Naciones Unidas, 2015)

Ilustración 3 Objetivos de desarrollo sostenible



Revisando cada uno de estos objetivos se identifica que el caso de estudio (ECOMAYO) se acoge a los siguientes ODS:

ODS 8: TRABAJO DECENTE Y CRECIMIENTO ECONÓMICO.

Este ODS promueve el trabajo Decente y Crecimiento Económico, tiene como objetivo promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo, y el trabajo decente para todos. (Naciones Unidas, 2015)

Genera nuevas oportunidades laborales en el sector del reciclaje y la producción sostenible.

Apoya el desarrollo económico local mediante la transformación de residuos en productos comercializables.

ODS 9: INDUSTRIA INNOVACIÓN E INFRAESTRUCTURA.

Busca construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible, y fomentar la innovación (Naciones Unidas, 2015)

Promueve procesos de producción sostenibles mediante la transformación de residuos plásticos en nuevos productos.

Fomenta la innovación al desarrollar un sistema eficiente de recolección y procesamiento de residuos.

ODS 12: PRODUCCIÓN Y CONSUMO RESPONSABLE.

Busca garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles. Su objetivo principal es cambiar el modelo actual de producción y consumo para lograr una gestión eficiente de los recursos naturales, reducir desperdicios y promover prácticas más sostenibles. (Naciones Unidas, 2015)

Impulsa una economía circular al reutilizar plásticos desechados en la fabricación de tejas y cubiertas.

Disminuye la generación de residuos al crear un sistema eficiente de recolección y transformación.

ODS 13: ACCIÓN POR EL CLIMA

ODS que se centra en la necesidad de tomar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos. busca integrar la acción climática en las políticas, estrategias y planes de todos los sectores, fortaleciendo la resiliencia, la adaptación y la mitigación. (Naciones Unidas, 2015)

Reduce la contaminación plástica y la emisión de gases de efecto invernadero derivados del mal manejo de residuos.

Fomenta la resiliencia ambiental al disminuir la dependencia de materiales convencionales de construcción.

5.4. Economía circular

El concepto de economía circular se basa en los fundamentos de la escuela ecologista y propone cambios en el paradigma tradicional de reducir, reutilizar y reciclar a una transformación más profunda y duradera. Este modelo busca minimizar el impacto ambiental

derivado de las actividades humanas en la generación de residuos, promoviendo su reutilización inteligente, ya sea este de origen orgánico o tecnológico. Se establece un sistema cíclico que imita los procesos naturales. En este contexto, el residuo no se considera un desecho, sino que se transforma en materia prima aprovechable para los ciclos naturales o se reintegra en la fabricación de nuevos productos tecnológicos, todo ello buscando un consumo energético mínimo. (Lett, 2014)

Ilustración 4 Modelos de Economía circular



Fuente: Servicio de Investigación del Parlamento Europeo

5.5. Plásticos

En el mundo actual, los plásticos se han convertido en materiales fundamentales para la fabricación de una amplia gama de productos utilizados en el día a día, resulta pertinente comprender las características y clasificaciones básicas de estos materiales, cuya versatilidad contrasta con los desafíos que plantean para la sostenibilidad ambiental.

El término *plástico* define a un material compuesto por elementos orgánicos de origen sintético o semisintético, cuya principal característica es la *maleabilidad*, es decir, su capacidad para ser moldeado mediante la aplicación de calor o presión sin alterar su composición química. Principalmente, los plásticos han sido elaborados a partir de derivados del petróleo, gas natural, carbón y sal común. No obstante, en los últimos años han emergido alternativas basadas en fuentes renovables (WWF Colombia, 2018)

5.6. Generación de Residuos Plásticos

Se determina que la producción masiva de plásticos ha generado una crisis de contaminación sin precedentes, materiales derivados de combustibles fósiles en un 99%, esto presentan un desafío crítico en términos de gestión de residuos debido a su producción masiva y corto ciclo de vida útil. Según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, 2023) indican que anualmente se producen aproximadamente 400 millones de toneladas de residuos plásticos a nivel global, de los cuales solo el 9% se somete a procesos de reciclaje. El restante se dispone inadecuadamente, mediante vertido, quema a cielo abierto o dispersión ambiental. (PNUMA, 2023)

En la región de América Latina y el Caribe, esta problemática representa el 14.4% del total mundial, evidenciando deficiencias sistémicas en la gestión de residuos, estos datos resaltan la necesidad de reconsiderar los procesos de producción, selección de materiales y estrategias de fin de vida útil. La persistencia de los polímeros en el entorno natural, con tiempos de degradación que superan los 500 años y su fragmentación progresiva en micro plásticos, plantean restricciones técnicas y éticas para el desarrollo de productos. (PNUMA, 2023)

En Colombia anualmente se generan 700.500 toneladas de envases y empaques plásticos de los cuales solo el 30% son reciclados en nuevos empaques. Para contrarrestar

estas alarmantes cifras se creó el **Pacto por los Plásticos en Colombia**, este pacto busca acelerar la circulación de este material para lograr incrementar las cifras de aprovechamiento y reincorporación de los envases y empaques. De este proyecto ya hacen parte importantes empresas que operan en el territorio nacional, estas empresas son Carvajal, Coca-Cola, Grupo Plastiline, Jerónimo Martins (Ara), Nestlé, Plastisol, Resiter y Xiclo. (WWF Colombia, 2023) Estas corporaciones ya apuntan hacia la economía circular buscando el bienestar del medio ambiente.

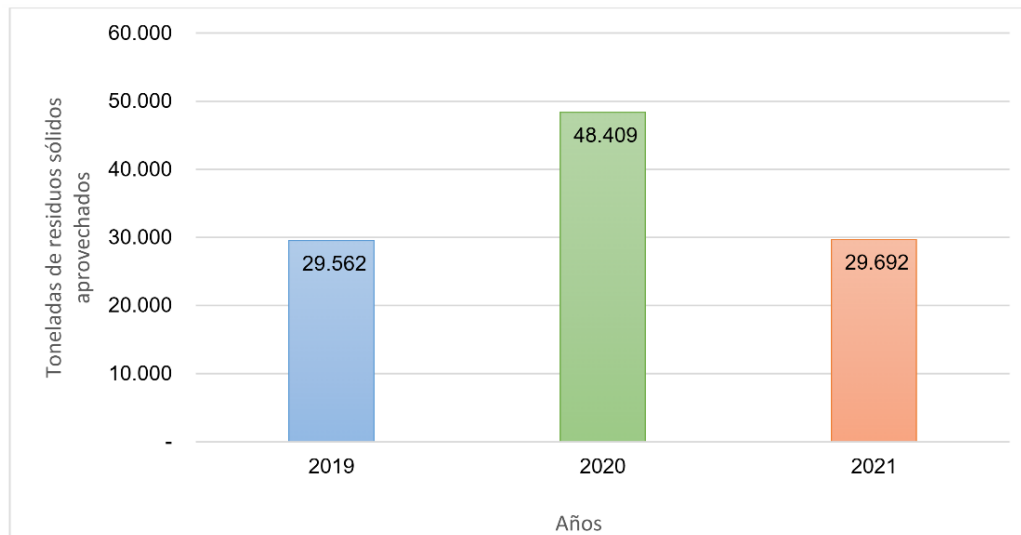
5.7. Aprovechamiento de los residuos poliméricos.

La recuperación eficiente de plásticos contribuye a la sostenibilidad ambiental ya que reduce la acumulación de residuos y la dependencia de recursos naturales. Además, fomenta la innovación en el desarrollo de tecnologías de reciclaje y promueve prácticas de consumo responsables.

La transformación de residuos plásticos en nuevos productos ha experimentado una notable evolución y ha influido en prácticamente todos los sectores industriales, incluyendo la construcción, la industria textil, el embalaje, así como el mobiliario y la decoración, desarrollando productos como la madera plástica, piezas textiles con PET reciclado, bloques de fácil ensamblaje y mobiliario para exteriores de alta resistencia.

En los años 2019-2021 Cali presentó un aprovechamiento (reciclado) de residuos sólidos domiciliarios de 107.663 toneladas equivalente al 17% de la totalidad de residuos generados. (DAGMA, 2022)

Ilustración 5 Registro anual de aprovechamiento de residuos sólidos domiciliarios en Santiago de Cali



Fuente: Informe ambiental Cali Cómo Vamos

En la gráfica se indica la tasa de aprovechamiento de residuos sólidos domiciliarios en Santiago de Cali, considerando la relación entre la cantidad de residuos generados y la cantidad de residuos aprovechados, paso del 4% en 2019 al 8% en 2020, y del 5% en 2021. (DAGMA, 2022)

Es conveniente mencionar que, desde el diseño, se puede aportar significativamente al buen uso de los plásticos, no solo en su aplicación inicial, sino también previendo su aprovechamiento posterior. El diseño industrial, entendido como una disciplina integradora, tiene un papel clave en el desarrollo de soluciones sostenibles, permitiendo la creación de productos que respondan a necesidades reales mientras consideran su impacto ambiental. En este sentido, el diseñador industrial se posiciona como un actor fundamental en los procesos de transformación responsable y en la conservación del entorno.

5.8. Clasificación de polímeros reciclables.

Mediante la norma internacional ASTM D7611/D7611M-21 se establece un sistema de marcado y etiquetado destinado a identificar los materiales plásticos en productos terminados. Su objetivo principal es facilitar la clasificación y el reciclaje de plásticos al final de su vida útil, clasificándolos de la siguiente manera. (ASTM International, 2021)

Tabla 2 Identificación de plásticos en productos terminados.

Numero	plástico	Nombre	Usos comunes
1	PET	Polietilentereftalato	Botellas de bebidas, envases de alimentos.
2	HDPE	Polietileno de alta densidad	Envases para químicos, bidones, tuberías.
3	PVC	Policloruro de vinilo	Tuberías, tarjetas bancarias, cortinas de baño
4	LDPE	Polietileno de baja densidad	Bolsas plásticas, películas, botellas flexibles.
5	PP	Polipropileno	Tapas de botellas, pajillas, envases de yogur.
6	PS	Poliestireno	Vasos desechables, bandejas de carne, espuma de embalaje.
7	OTROS	Policarbonatos, bioplásticos, mezclas	CD/DVD, botellas de policarbonato, plásticos biodegradables.

En el caso particular de estudio la principal materia prima usada para la creación de nuevos productos por medio del reciclaje mecánico es el polietileno de alta y baja densidad, por lo que es necesario dar una breve descripción de cada uno de ellos.

LDPE

El polietileno de baja densidad se caracteriza por su densidad molecular que le brinda características de flexibilidad y a ella se unen otras cualidades como una buena resistencia tanto al impacto como a altas temperaturas y a sustancias químicas. Este se puede encontrar principalmente en bolsas plásticas, películas plásticas, botellas y envases flexibles y recubrimientos de cartón entre muchas otras. (Álvarez, 2023)

HDPE

El polietileno de alta densidad es un polímero resistente, rígido y ligero, con alta resistencia química, térmica y mecánica. Es menos flexible que el LDPE, pero mucho más fuerte, lo que lo hace ideal para aplicaciones estructurales, industriales y de envasado, su uso más frecuentes es en botellas y envases rígidos, tapas y cierres plásticos, películas plásticas resistentes, bidones y contenedores industriales.

Estos dos materiales presentan distintos procesos de reciclaje ya que su uso anterior puede crear una contaminación diferente, el HDPE es de fácil reciclado ya que en su uso primario no se contamina excesivamente, lo que facilita su trituración y limpieza, adicional a esto este presenta un punto de fusión mayor que el de LDPE.

Con la combinación de estas dos categorías de material se pueden otorgar características específicas a los nuevos productos, como lo es la flexibilidad, dureza, color entre otras. (Álvarez, 2023)

6. Estado del arte

El reciclaje de plásticos se estructura en cuatro categorías diferenciadas por su nivel de transformación y valor resultante. El **reciclaje de nivel primario**, el más sencillo, se limita a reprocesar residuos industriales limpios (como recortes de producción) mediante métodos mecánicos para fabricar productos similares al original. Sin embargo, su impacto no es tan directo, representando solo una fracción mínima del reciclaje total.

El **reciclaje de nivel secundario**, predominante en sectores como el automotriz, funde plásticos posconsumo para crear productos de menor calidad funcional. Aunque es el método más extendido, solo es viable para el 20% de los residuos plásticos (Arandes Esteban, Bilbao Elorriaga, & López Valerio, 2004). Por el contrario, el **reciclaje de nivel terciario (químico)** descompone polímeros en moléculas básicas mediante procesos como solvólisis —incluyendo glicólisis o hidrólisis—, ideales para poliésteres o poliuretanos. Estos compuestos recuperados pueden usarse incluso en aplicaciones críticas como envases alimentarios, superando limitaciones del reciclaje mecánico.

Por último, el **reciclaje de nivel cuaternario** recupera energía mediante incineración, una opción eficiente pero polémica por sus emisiones. Paralelamente, tecnologías como la pirólisis o hidrogenación catalítica —implementadas a escala industrial en plantas de gran tamaño transforman poliolefinas en combustibles o materias primas químicas, aunque su rentabilidad depende de subsidios y precios del petróleo (Arandes Esteban, Bilbao Elorriaga, & López Valerio, 2004). Esta diversidad de métodos refleja la necesidad de abordar el reciclaje plástico desde múltiples enfoques, equilibrando viabilidad técnica, económica y ambiental.

Transformación de plástico reciclado en nuevos productos

El *"Estudio de factibilidad para la instalación de una planta de transformación de residuos plásticos PET"* realizado por (Ayala Valderrama, 2019) en la Escuela Militar de Suboficiales en Colombia, demuestra la viabilidad técnica y económica del reciclaje de PET

para la fabricación de nuevos productos, como ladrillos, postes y bloques. Este trabajo resalta que el PET por sus propiedades de ligereza, resistencia mecánica y alta reciclabilidad es un material ideal para procesos de extrusión y moldeo, (Ayala Valderrama, 2019) tecnologías ya instaladas en la planta de tratamiento Ecomayo.

En esta investigación se detalla una metodología probada y verificada para la transformación de PET:

Recolección y separación: Uso de contenedores estratégicos y clasificación manual por color/tipo (evitando contaminantes).

Trituración y lavado: Máquina trituradora (60-70 kg/h) y sistema de lavado con motobomba para eliminar impurezas.

Extrusión y moldeo: Extrusora a 160°C para fundir el PET, seguido de moldeo en acero AISI 1020 para obtener productos homogéneos. (Ayala Valderrama, 2019)

En el modelo implementado en la anterior investigación se puede validar que una línea de transformación de plástico reciclado es técnica y financieramente viable respecto a la inversión realizada, usando materia prima de segunda mano como es el plástico reciclado que presenta un gran potencial de transformación y disponibilidad.

En cuanto al impacto ambiental, el proyecto representa un gran beneficio por que evita que residuos sólidos aprovechables vayan a rellenos sanitarios donde su degradación es de tiempo prolongado, y con esto evitando generación de gases de efecto invernadero emitidos a la atmosfera.

7. Marco normativo

Para poder incursionar en el procesamiento de plástico reciclado es importante contemplar el marco normativo que rodea el tema, se pudo identificar las siguientes normas.

Decreto 596 de 2016

"Por el cual se modifica y adiciona el Decreto 1077 de 2015 en lo relativo con el esquema de la actividad de aprovechamiento del servicio público de aseo y el régimen transitorio para la formalización de los recicladores de oficio, y se dictan otras disposiciones" (Presidencia de la República de Colombia., 2016)

Esta norma cambió la forma de manejar los residuos sólidos en Colombia. El Gobierno Nacional dio un lugar oficial al reciclaje dentro del servicio público de aseo, reconociendo el trabajo de los recicladores y buscando incluirlos de manera justa en el sistema.

Anteriormente, muchos recicladores trabajaban en la informalidad, pero ahora tienen la oportunidad de organizarse y ser parte legal del proceso. Siempre y cuando, lleven una trayectoria en dicha tarea: el decreto les dio un plazo de cinco años para cumplir ciertos requisitos, como registrarse ante el RUPS (Registro Único de Prestadores de Servicios Públicos), mejorar sus procesos y garantizar que los materiales reciclables se gestionen de forma correcta. (Presidencia de la República de Colombia., 2016)

Pero no todo depende de ellos. Los ciudadanos también tienen una obligación la que consta de la separación de residuos en casa y apoyar la recolección diferenciada. Todo esto buscando una colaboración buscando que el sistema funcione mejor, se aprovechen más los recursos y, sobre todo, se valore el trabajo de quienes llevan años reciclando sin ningún reconocimiento. (Presidencia de la República de Colombia., 2016)

Ley 2232 de 2022,

"Por la cual se establecen medidas tendientes a la reducción gradual de la producción y consumo de ciertos productos plásticos de un solo uso y se dictan otras disposiciones." (Congreso de Colombia, 2022)

Esta ley establece la reducción progresiva de plásticos de un solo uso como bolsas, pitillos y vajillas desechables. A partir de julio de 2024 comenzaron a prohibirse estos

productos, con un plazo máximo de 8 años para eliminar los más complejos, mientras se promueven alternativas sostenibles y se fortalece el reciclaje. No obstante, no es solo tarea del gobierno, las empresas deberán hacerse responsables de gestionar los plásticos que producen, y los ciudadanos tendrán que adoptar hábitos más conscientes, como preferir productos reutilizables y separar mejor los residuos. (Congreso de Colombia, 2022)

Esta ley no solo reducirá el daño ambiental, sino que abre oportunidades para emprendimientos verdes y proyectos de economía circular, demostrando que el cuidado del planeta es una responsabilidad compartida. Pequeños cambios en nuestro consumo pueden generar un gran impacto, especialmente en un país donde cada año se producen más de un millón de toneladas de plástico. El mensaje es claro: menos plástico desechable significa más futuro para nuestros ecosistemas y comunidades.

Resolución 1407 de 2018

“Por la cual se reglamenta la gestión ambiental de los residuos de envases y empaques de papel, cartón, plástico, vidrio, metal y se toman otras determinaciones “ (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018)

Mediante esta resolución el Ministerio de Ambiente obliga a fabricantes e importadores a asumir la gestión de los envases y empaques que producen. Esta regulación, basada en principios de economía circular, establece metas concretas para recuperar materiales como plástico, vidrio y cartón, impulsando su reincorporación en nuevos procesos productivos. Lo más innovador es que no solo fija porcentajes obligatorios de reciclaje, sino que formaliza el papel de los recicladores, dándoles un lugar protagónico en la cadena de aprovechamiento. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018)

De igual manera las empresas deben rediseñar sus empaques para hacerlos más sostenibles y crear sistemas eficientes de recolección, bajo la supervisión de autoridades ambientales. Este cambio representa una oportunidad para modernizar la industria del reciclaje,

reducir el impacto ecológico y mejorar las condiciones de miles de recicladores que históricamente han trabajado en la informalidad. Con esta norma, Colombia avanza hacia un modelo donde productores, consumidores y recicladores comparten la responsabilidad de construir un futuro más limpio y sostenible, demostrando que las regulaciones ambientales bien diseñadas pueden generar beneficios tanto ecológicos como sociales. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018)

Norma Técnica Colombiana NTC 6632:2022.

Establece los requisitos para garantizar la trazabilidad y calidad de los plásticos reciclados. Esta norma, similar al estándar europeo UNE-EN 15343:2008, permite a las empresas colombianas alinearse con prácticas internacionales y fortalecer la seguridad en los procesos de reciclaje.

La norma toca aspectos críticos como el control de los materiales que ingresan al proceso, la supervisión de cada etapa de producción, la caracterización de los plásticos reciclados y la implementación de sistemas de trazabilidad. Además, establece métodos para evaluar la calidad del material y determinar el porcentaje de contenido reciclado en productos finales.

Para las empresas, implementar esta norma no solo significa cumplir con regulaciones, sino también demostrar su compromiso con la sostenibilidad. Al garantizar la transparencia en la cadena de suministro y la calidad de los materiales reciclados, la NTC 6632:2022 impulsa la economía circular y abre oportunidades para que Colombia se posicione en mercados internacionales que valoran prácticas ambientales responsables.

En un mundo donde la demanda de plásticos reciclados crece, esta norma es una herramienta clave para promover la innovación, la competitividad y, sobre todo, un futuro más sostenible. (ICONTEC, 2022)

Norma Técnica Colombiana NTC 6740:2024

La norma determina la calidad con la que los recicladores y empresas debe procesar el polietileno reciclado, creando un "manual de instrucciones" que especifica desde cómo debe llegar el material hasta qué métodos y ensayos realizar para verificar que sea óptimo para la fabricación de nuevos productos. Esto es beneficioso para la industria, ya que traza unos ítems al momento de comprar o vender plástico reciclado. (ICONTEC, 2024)

Lo más relevante de esta norma es que ayuda a la formalización y regulación del comercio del polietileno. Con esto los recicladores sabrán exactamente qué características debe tener su material para ser competitivo, y las fábricas tendrán más seguridad para usar plástico reciclado en sus producciones. (ICONTEC, 2024)

8. Estado de la técnica

En las últimas décadas, el crecimiento del consumo de productos plásticos ha generado una problemática ambiental de gran escala, motivando el desarrollo de nuevas tecnologías y estrategias para su aprovechamiento posconsumo. En este contexto, la transformación de residuos plásticos en nuevos productos funcionales y sostenibles ha cobrado relevancia como una alternativa eficaz dentro del modelo de economía circular. Diversas iniciativas en el ámbito industrial, académico y comunitario se han enfocado en el reciclaje mecánico y químico de polímeros, dándole paso a la creación de soluciones innovadoras que reducen la huella ecológica y fomentan el aprovechamiento de materiales previamente desechados.

En Colombia uno de los métodos más usado para la transformación de plástico es el químico, destacándose como el pionero en la producción de polipropileno circular en Latinoamérica. Este avance es resultado de la colaboración entre Esenttia, filial del Grupo Ecopetrol, y otras empresas como Taghleef Industries, PepsiCo y Pyrcom. (Económica, 2023) . El proceso implica la transformación mediante reciclaje químico avanzado de residuos plásticos

post-consumo difíciles de reciclar, obteniendo una resina circular con propiedades similares a las resinas vírgenes. La producción inicial busca recuperar alrededor de 500 toneladas de residuos plásticos, contribuyendo significativamente a la economía circular y a la reducción de la contaminación ambiental. (Económica, 2023)

Bioestibas

Empresa colombiana que se destaca por su enfoque innovador en la fabricación de estibas ecológicas. Ubicada en La Ceja, Antioquia, Bioestibas utiliza plástico reciclado para la fabricación del 100% de sus estibas, contribuyendo a la conservación de los bosques al reducir la necesidad de madera para la producción de estibas. Además, la empresa genera empleo para alrededor de 30 personas. Esta iniciativa ejemplifica cómo la innovación en el reciclaje de materiales puede conducir a soluciones industriales sostenibles y socialmente responsables. (Bioestibas S.A.S., s.f.)

Las estibas presentan múltiples ventajas en comparación con las tradicionales de madera, entre las que se incluyen:

- **Resistencia a la humedad:** Al estar fabricadas 100% en plástico, son totalmente resistentes a la humedad y permiten su lavado reiterado, lo que las hace ideales para industrias como la hospitalaria, farmacéutica y de alimentos.
- **Inocuidad:** No contaminan los productos con los que entran en contacto ni causan daño al medio ambiente ni a la salud, siendo seguras y respetuosas con el entorno natural.
- **Eficiencia logística:** Permiten el acceso de montacargas por los cuatro costados, facilitando la operación logística.
- **Protección forestal:** Al aprovechar desechos plásticos, evitan la tala intensiva de bosques y selvas.
- **Eficiencia espacial:** Son apilables y ocupan la cuarta parte del volumen de las estibas tradicionales, lo que reduce en un 75% los costos de bodegaje y transporte.

Ilustración 6 *Publicidad Bioestibas*



Estibas plásticas
100% recicladas,
no contaminan,
ni se dejan contaminar

Bioestibas
 Sostenibilidad ambiental

Eficiencia espacial
 Son apilables y ocupan la cuarta parte del volumen de las estibas tradicionales. Un camión que transporta 500 estibas tradicionales transporta 2000 bioestibas. **Reducen en un 75%** los costos de bodegaje y transporte.

Contáctanos 312 7576561

www.bioestibas.com
gerencia@bioestibas.com

Precious Plastic

Demostrando el compromiso con el medio ambiente se creó la organización sin ánimo de lucro Precious Plastic que tiene como base reducir de forma indirecta los residuos plásticos transformándolos en nuevos productos útiles, esta organización toma como base el reciclaje mecánico en todas sus fases. Desarrollan y comparten gratuitamente diseños de máquinas que permiten triturar, fundir e inyectar plástico reciclado, facilitando la creación de nuevos productos a pequeña escala, se incluyen desde planos hasta materia prima específica a reutilizar. (Plastic, s.f.)

Ilustración 7 Tipo de Maquinaria Precious Plastic



Básico

Iníciate en el reciclaje de plástico.
Ideal para aprender y ejecutar programas educativos.

[Ir a Máquinas básicas](#)



Pro

Iniciar un negocio de reciclaje.
Máquinas más grandes para procesar más volumen y reciclar más plástico.

[Ir a máquinas Pro](#)

Eco Maderas Plásticas

Como referente de producción en Colombia encontramos **Eco Maderas Plásticas**, esta empresa ofrece una amplia gama de productos, incluyendo postes plásticos, pisos modulares, estibas, canastillas, pesebreras, mobiliario y parques infantiles. Estos productos destacan por su durabilidad, resistencia a condiciones climáticas adversas y contribución a la conservación ambiental al reutilizar materiales reciclados. (Plásticas, s.f.)

Además de su línea de productos, Eco Maderas Plásticas desarrolla y comercializa maquinaria especializada para la transformación de plásticos reciclados. Entre estas máquinas se encuentran extrusoras, molinos, aglutinadores y mezcladores, diseñados para el procesamiento de materiales y fomentar prácticas sostenibles a nivel industrial (Plásticas, s.f.)

9. Trabajo de campo

El actual trabajo de campo fue realizado principalmente en el municipio de La Cruz, Nariño en la fundación ECOMAYO ubicada a un kilómetro del casco urbano en el corregimiento de Cofradía. Esta empresa busca aprovechar los residuos plásticos generados en el municipio y sus alrededores, los cuales actualmente no cuentan con un sistema de recolección, clasificación ni transformación adecuado, lo que genera impactos ambientales y costos para el municipio.

Este se realizó con el propósito de observar directamente las dinámicas de recuperación de residuos plásticos en la fundación, identificando los tipos de plásticos, productos y maquinaria implementada en la labor de transformación de plástico reciclado en nuevos productos. Esta información es clave para diseñar un sistema eficiente y viable para la transformación que se alinee con las capacidades técnicas instaladas.

El objetivo principal del trabajo de campo fue recolectar información directa sobre el proceso de transformación de residuos encontrar plásticos encontrados en la planta de tratamiento en Ecomayo, con el fin de identificar aspectos que sirvan de insumo para la implementación de una nueva línea de producción y así ampliar el catálogo de productos.

De manera específica, se buscó:

- Observar los procesos de recepción, selección y tratamiento del plástico reciclado.
- Identificar las máquinas, herramientas e infraestructura disponibles.
- Comprender los flujos de trabajo y la organización del espacio productivo.
- Conocer las dificultades técnicas o logísticas que enfrenta el equipo de trabajo.
- Evaluar el potencial de ampliación hacia una línea específica para cubiertas.

A través de la visita fue posible identificar las capacidades de la empresa en cuanto a maquinaria, conocimiento del proceso, condiciones de almacenamiento y manejo de materiales

reciclados. Esta información es importante para proponer un diseño que no solo sea funcional desde el punto de vista teórico, sino también viable en términos de recursos, espacio disponible y compatibilidad con todos los equipos.

Además, el acercamiento con el personal técnico de la empresa permitió detectar necesidades prácticas que se están corrigiendo actualmente, oportunidades de mejora e incluso aportes valiosos que enriquecen la propuesta como el tipo de molde que usan, forma de extracción del molde. De este modo, el trabajo de campo muestra las condiciones reales del entorno productivo de la fundación.

Tabla 3 *Listado de productos ofrecido por la empresa, con sus características.*

Producto	Especificación
Poste plástico	250 cm largo * 8 cm ancho □
Poste cilíndrico	300 cm largo *10 cm diámetro
Tabla	250 cm largo *15cm ancho *2.5cm espesor
Ladrillo plástico (Enganche)	32 cm largo *6cm ancho*12 cm alto
Tabla para pallet	120cm largo *100cm ancho *2.5cm espesor
Tabla machimbre	100cm largo*12cm ancho * 2.5 espesor

Ilustración 8 *productos ofrecidos por la fundación Ecomayo.*



Poste de cercado



Adoquines



Tabla machimbre



Ladrillo plástico (Enganche)

Tabla 4 *Lista de maquinaria disponible en la planta de transformación Fundación Ecomayo*

Elemento	Unidad de medida	Cantidad
Extrusora 150mm 50hp HAUSEN 150kg/hora	Unidad	1
Molino- Triturador	Unidad	1
Aglutinadora	Unidad	1
Sistema de enfriamiento	Unidad	1
Compactadora 16 ton	Unidad	1
Molde para poste plástico	Unidad	10
Molde para postes cilíndricos	Unidad	5
Molde para tabla	Unidad	7
Molde para tabla pallet	Unidad	6
Molde para tabla machimbre	Unidad	6

Ilustración 9 *Maquinaria Ecomayo.*

Extrusora 150mm 50hp HAUSEN 150kg/hora



Sistema de enfriamiento



Molde para poste plástico



Aglutinadora

Por parte de la empresa se comparte el flujograma general que resume las fases principales de la línea de producción implementada para la fabricación de nuevos productos a partir de plástico reciclado. Este esquema permite visualizar de forma ordenada y secuencial cada etapa del proceso, desde la entrada de materia prima hasta el almacenamiento de productos terminados, facilitando la comprensión integral del sistema planteado.

Ilustración 10 Flujograma línea de producción

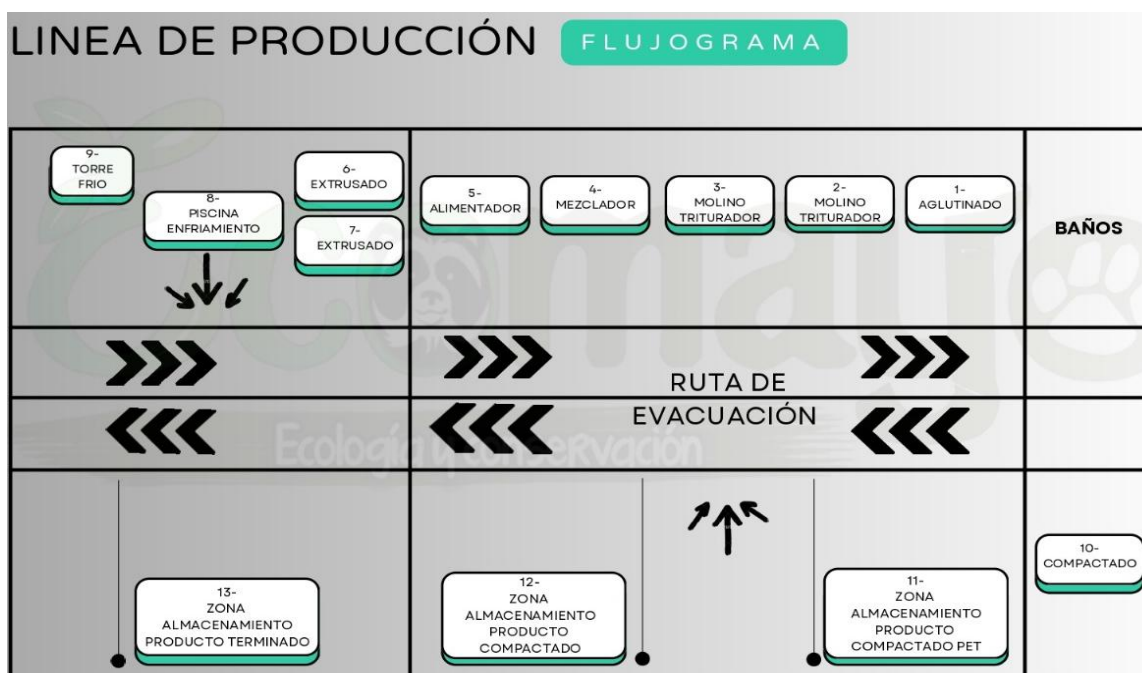
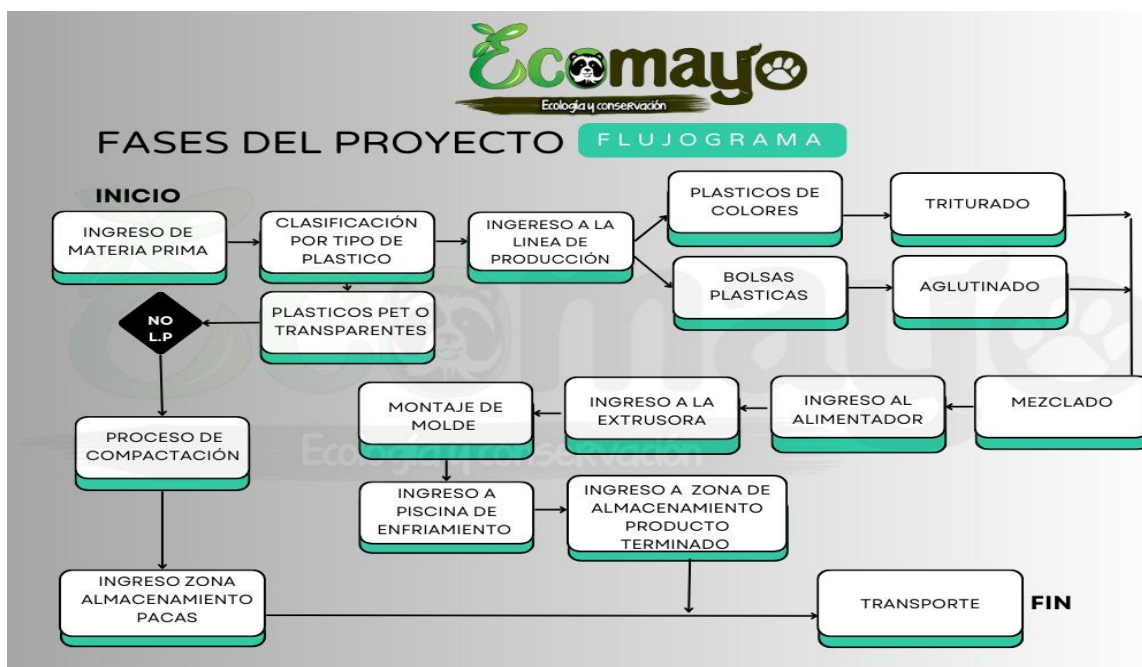


Ilustración 11 Flujograma fases del proyecto



Actualmente, la empresa está llevando a cabo adecuaciones en sus nuevas instalaciones y maquinaria. Como resultado, se encuentra operando a un volumen reducido

para satisfacer la demanda de pedidos por encargo, utilizando equipos antiguos cuya productividad es limitada.

Al dialogar con los encargados de la planta de producción y específicamente con el ingeniero Jhon Jairo Alvear que es el encargado del nodo ambiental de la fundación, menciona que tienen como proyección a futuro la generación de viviendas de bajo costos y sostenibles con el medio ambiente, por esta razón, y considerando el portafolio actual, se busca la implementación de nuevos productos. “ya que tenemos tablas, bloques y postes buscamos poco a poco llegar a la producción de estas viviendas”. buscando cumplir con lo anterior se busca diseñar una cubierta por lo que es uno de los puntos más importantes, ya que es responsable de proteger contra la lluvia y la radiación solar directa.

Como conclusión de la visita realizada a la planta de tratamiento de plástico y teniendo en cuenta los relatos de los integrantes de la fundación, se identifica la necesidad de la creación de un nuevo producto que cumpla la tarea de resguardar y proteger una vivienda. Adaptándose a las salidas de las extrusora y los tipos de moldes usados en los productos, se debe diseñar un sistema integral compuesto por molde, sistemas de instalación, materiales y refuerzos buscando la eficiencia en el producto.

Actualmente, en regiones como Nariño y Valle del Cauca, las empresas dedicadas a la transformación de plástico reciclado se enfocan principalmente en la producción de postes, tablas, bloques y otros productos básicos de madera plástica. Sin embargo, se observa una ausencia de soluciones orientadas a cubiertas o tejas, donde se encuentra oportunidad de innovación. Esto revela un vacío en el mercado que podría ser aprovechado por proyectos con enfoque sostenible, especialmente en contextos rurales o agrícolas donde se busca materiales económicos, resistentes y duraderos para techado y construcción liviana.

En este sentido, el proyecto adquiere relevancia, ya que propone el desarrollo de una línea de producción de cubiertas a partir de polietileno reciclado (HDPE y LDPE), adaptada a

las condiciones y necesidades del entorno local. La Fundación Ecomayo cuenta con maquinaria versátil que permite la modificación e integración de diferentes tipos de boquillas, moldes y materiales, lo que amplía el abanico de posibilidades técnicas para el desarrollo de nuevos productos lo que permite diversificar la oferta de productos reciclados funcionales, sostenibles y de bajo costo.

10. Objetivos

10.1. Objetivo general

Maximizar el uso de plástico reciclado en la fabricación de cubiertas en la planta de transformación de la Fundación Ecomayo.

10.2. Objetivos específicos

- Evaluar técnicamente las propiedades del plástico reciclado determinando su viabilidad para la fabricación de cubiertas plásticas.
- Plantear un sistema de producción eficiente y sostenible, buscando asegurar calidad.
- Desarrollar un prototipo de cubierta plástica adaptado a las necesidades y capacidades técnicas de la Fundación.
- Evaluar el impacto de la implementación de la línea de producción, centrándose en cantidad de material aprovechado en la generación de cada unidad.
- Analizar la competitividad del producto final en relación con los que actualmente están disponibles en el mercado.

11. Estrategias para la evaluación de alternativas.

Buscando garantizar el éxito de este trabajo investigativo, es fundamental evaluar las alternativas de diseño y producción de manera estructurada, considerando aspectos técnicos, ambientales, económicos y sociales.

La estrategia de evaluación de alternativas se basa en un método sistemático que prioriza objetivos, define criterios específicos y asigna valores ponderados para comparar alternativas. Esto permitirá seleccionar la opción más viable, alineada con las capacidades de la fundación ECOMAYO y las necesidades del mercado.

11.1. Definición de Objetivos Principales

en este punto se determinan conceptos clave dentro de cada objetivo facilitando identificar su propósito principal.

- **Funcionalidad técnica:** Las cubiertas deben cumplir con requisitos técnicos como resistencia, durabilidad y productividad para asegurar su uso efectivo en construcciones.
- **Sostenibilidad:** El proyecto debe maximizar el uso de plástico reciclado e intentar alinearse con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).
- **Viabilidad Económica:** Es clave que el costo de producción sea competitivo y que el proyecto sea rentable para ECOMAYO.
- **Adaptabilidad:** El diseño debe ser compatible con la maquinaria existente y permitir escalabilidad.
- **Aceptación de Mercado:** El producto final debe ser atractivo para los usuarios y competitivo frente a alternativas tradicionales

Se agrega a cada uno de los objetivos un peso porcentual que indica su relevancia.

Tabla 5 *Definición de Objetivos Principales*

Objetivo	Peso (%)	Descripción
Funcionalidad técnica	30	Cumplir con propiedades técnicas (resistencia, durabilidad, adaptabilidad climática).
Viabilidad Económica	25	Costos de producción, rentabilidad y acceso a materiales reciclados.
Sostenibilidad	20	Impacto ambiental positivo (economía circular, reducción de residuos).
Adaptabilidad	15	Compatibilidad con maquinaria existente y escalabilidad.
Aceptación de Mercado	10	Demanda local, competitividad y percepción del usuario.

11.2. Matriz de Enfrentamiento de Objetivos

Esta matriz compara los objetivos entre sí para determinar su influencia en el contexto del proyecto. Se asigna un valor de 1 si un objetivo influye en el objetivo al que se enfrenta y 0 si no lo hace, esto nos ayudara a enfocar los esfuerzos en los aspectos que más impactan el proyecto.

Tabla 6 Matriz de Enfrentamiento de Objetivos

	Funcionalidad técnica	Sostenibilidad	Viabilidad Económica	Adaptabilidad	Aceptación de Mercado	Total
Funcionalidad técnica	-	1	1	1	1	4
Sostenibilidad	0	-	1	0	1	2
Viabilidad Económica	1	0	-	1	1	3
Adaptabilidad	1	1	1	-	0	3
Aceptación de Mercado	0	1	0	1	-	2

Orden de prioridad:

1. Funcionalidad técnica. 4 puntos
2. Adaptabilidad 3 puntos
3. Viabilidad Económica. 3 puntos
4. Sostenibilidad. 2 puntos
5. Aceptación de Mercado 2 puntos

11.3. Requerimientos y Determinantes por Objetivo

Tabla 7 *Requerimientos y Determinantes por Objetivo*

Funcionalidad técnica	Sostenibilidad	Viabilidad Económica	Adaptabilidad	Aceptación de Mercado
Resistencia a cargas	% de plástico reciclado	Costo de producción	Compatibilidad con maquinaria	Encuestas a usuarios
Estanqueidad (lluvia)	Adaptación a los ODS	Precio de venta	Tiempo de monte y desmote en producción	Competitividad vs. alternativa
Durabilidad (UV/humedad)	Disminución de residuos en producción	Uso de Recursos locales	Número de piezas por día	Percepción estética
Facilidad de instalación	Vertimientos contaminantes en el agua			

Cada objetivo se desglosa en criterios específicos que permiten evaluar las alternativas de manera detallada.

11.4. Escalas de Valor para Cada Requerimiento

-Funcionalidad técnica

Resistencia a cargas (Valor máximo: 3 puntos)

- Excelente (3 puntos): Soporta >100 kg/m².
- Bueno (2 puntos): Soporta 50–100 kg/m².

- Deficiente (1 punto): Soporta <50 kg/m².

Estanqueidad (Valor máximo: 3 puntos)

- Excelente (3 puntos): Soporta inundación de 100 mm.
- Bueno (2 puntos): Soporta inundación de 60 mm.
- Deficiente (1 punto): Soporta inundación de 20 mm.

Durabilidad (UV/humedad) (Valor máximo: 3 puntos)

- Excelente (3 puntos): Soporta exposición natural de
- Bueno (2 puntos): Soporta exposición natural de
- Deficiente (1 punto): Soporta exposición natural de

Facilidad de instalación (Valor máximo: 3 puntos)

- Excelente (3 puntos): sin herramientas
- Bueno (2 puntos): herramientas básicas
- Deficiente (1 punto): Requiere herramientas especializadas

-Sostenibilidad

% de plástico reciclado (Valor máximo: 3 puntos)

- Excelente (3 puntos): 90–100% reciclado.
- Bueno (2 puntos): 70–89% reciclado.
- Regular (1 puntos): 50–69% reciclado.

Adaptación a todos los ODS (Valor máximo: 4 puntos)

- Excelente (4 puntos): Contribuye directamente a 3+ ODS
- Bueno (3 puntos): Contribuye a 2 ODS
- Regular (2 puntos): Contribuye a 1 ODS
- Deficiente (1 punto): no cumple ninguno

Disminución de residuos en producción (Valor máximo: 3 puntos)

- Excelente (3 puntos): Cero residuos (100% aprovechados)

- Bueno (2 puntos): 50–90% de residuos aprovechados
- Regular (1 puntos): <25% de residuos aprovechados

Vertimiento de contaminantes en el agua (Valor máximo: 3 puntos)

- Excelente (3 puntos): Cero vertidos contaminantes
- Bueno (2 puntos): Vertidos dentro de normativa legal
- Regular (1 puntos): Vertidos significativamente sobre normativa

-Viabilidad Económica

Costo de producción (Valor máximo: 3 puntos)

- Excelente (3 puntos): <\$50,000 COP/unidad.
- Bueno (2 puntos): \$50,000–\$80,000 COP/unidad.
- Deficiente (1 punto): >\$80,000 COP/unidad.

Precio de venta (Valor máximo: 3 puntos):

- Excelente (3 puntos): competitivo vs. mercado
- Bueno (2 puntos): 10% más caro
- Deficiente (1 punto): 20%+ más caro

Uso de Recursos Locales: material, mano de obra e insumos (Valor máximo: 3 puntos):

- Alto (3 puntos): 80-100% recursos locales
- Medio (2 puntos): 50-79% recursos locales
- bajo (1 punto): <50% recursos locales

-Adaptabilidad

Compatibilidad con maquinaria: Encajes directos con extrusoras, flujos de producción y adaptaciones.

- Excelente (3 puntos): (sin modificaciones)
- Bueno (2 puntos): (ajustes menores)
- Deficiente (1 punto): (requiere nueva maquinaria)

Tiempo de monte y desmonte en producción.

- Eficiente (3 puntos): (<20 min)
- Bueno (2 puntos): (20–40 min)
- Deficiente (1 punto): (>40 min)

Número de piezas por día.

- Excelente (3 puntos): (> a 30 piezas)
- Bueno (2 puntos): (entre 15-30 piezas)
- Deficiente (1 punto): (<15 piezas)

La anterior propuesta permite evaluar las alternativas de diseño para las cubiertas plásticas recicladas, integrando criterios técnicos, ambientales, económicos y sociales clave para el proyecto. Al priorizar la funcionalidad técnica y la viabilidad económica, se asegura que las soluciones sean prácticas y sostenibles, mientras que la adaptabilidad garantiza compatibilidad con la maquinaria existente.

Los requerimientos específicos, junto con sus escalas de valor, brindan una herramienta cuantificable para comparar alternativas. Esto no solo optimiza la toma de decisiones, sino que también alinea el proyecto con los ODS y las necesidades del mercado local.

Esta estrategia asegura que la solución seleccionada sea técnicamente robusta, económicamente viable y ambientalmente responsable, cumpliendo con la misión de ECOMAYO y las demandas de la comunidad.

12. Metodología

Adaptación a la metodología de Bruno Munari.

12.1. Definición del Problema

Necesidad identificada:

provechar el plástico reciclado disponible en la Fundación ECOMAYO para crear un nuevo producto (cubiertas plásticas), que sean resistentes, funcionales, sostenibles y compatibles con la maquinaria existente.

Contamos con un contexto en el que se identifica una alta generación de residuos plásticos, también se identifica que la fundación Ecomayo quiere ampliar su portafolio de productos dirigidos al sector agropecuario y al de la construcción.

12.2. Recopilación de Datos

Fuentes y tipos de datos utilizados:

- Trabajo de campo en ECOMAYO: identificación de maquinaria, flujos de trabajo, capacidades.
- Caracterización de materiales a usar HDPE/LDPE y su mezcla (densidad, punto de fusión, rigidez).
- Estudio de normativas aplicables.

12.3. Análisis del Problema

Condiciones técnicas:

- Compatibilidad con maquinaria actual (extrusora, aglutinadora, compactadora).
- Tipo de molde: debe resistir calor, permitir desmoldeo fácil, reproducir forma exacta.

- Mezcla de materiales: proporción HDPE/LDPE óptima para flexibilidad y resistencia.

Condiciones contextuales:

- Limitaciones económicas de la Fundación.
- Entorno rural con climas variables: necesidad de resistencia UV y al agua.
- Usuarios con baja tecnificación para instalación.

con el análisis de estos puntos se concluye que se necesita un producto resistente, de fácil instalación, que maximice el uso de plástico reciclado y sea adaptable al sistema productivo de la fundación.

12.4. Creatividad

Propuestas generadas:

- Plantear diversos tipos de diseño de cubierta estudiando sus características estructurales y físicas.
- Estudiar y plantear sistemas de ensamble
- Refuerzos estructurales integrados al diseño.

Herramientas:

- Bocetos a mano o digitales.
- Generación de ideas para combinar geometrías y funciones.
- Sketch rápido digital o papel y posibles pruebas con cartón.

12.5. Diseño y Desarrollo

Diseño digital del producto:

- Modelado 3D de las cubiertas en Solidworks.

- Diseño del molde para termoformado.

Diseño del sistema de producción:

- Adaptación del molde a las salidas de extrusora.
- Plan de montaje/desmoldeo eficiente.
- Registro de tiempos de fabricación.

Simulaciones digitales con Solidworks:

- Análisis de cargas (peso humano sobre cubierta).
- Simulación de escurrimiento de agua.
- Deformación por temperatura.

12.6. Construcción del Prototipo

Prototipos realizados:

- Prototipo a escala en impresión 3D con material de especificaciones similar al real.
- Prototipo demostrativo de detalles importantes en el diseño de la cubierta en escala 1:1 y material real.

12.7. Pruebas y Verificación

Pruebas para realizar:

- Carga estática: resistencia a la tensión y compresión.
- Estanqueidad: simulación de lluvia con inclinación y estanqueidad.
- Instalación: evaluación de herramientas necesarias, tiempo y dificultad.
- Durabilidad climática: exposición al sol, lluvia y cambios térmicos.

Resultados esperados:

- Validación técnica del producto.
- Observaciones para mejorar forma, peso, anclaje o proporción de materiales.

12.8. Solución Final

¿Cuál es la mejor alternativa y cómo se implementará?

Producto final:

- Cubierta plástica fabricada con un mayor porcentaje de materiales reciclados (HDPE/LDPE).
- Diseño funcional y estético adaptado a la extrusora y moldes de ECOMAYO.
- Compatible con estructura de madera o metálica.
- Fácil instalación reduciendo productos extra.

Entrega de resultados:

- Ficha técnica del producto.
- Manual de uso e instalación.
- Informe de validación y pruebas.

13. Pruebas mecánicas.

Con el objetivo de validar la viabilidad técnica del plástico reciclado para la aplicación como material de cubierta. se desarrolla una serie de pruebas buscando determinar sus propiedades mecánicas y térmicas. La caracterización mecánica se centra en evaluar la integridad estructural del material ante las cargas más representativas de su uso real: el aplastamiento y el pandeo. Para ello, se realizaron pruebas de compresión uniaxial y flexión a

tres puntos, utilizando una Máquina Universal de Ensayos, la cual permitió registrar los diferentes datos y las curvas de carga y desplazamiento hasta el punto de falla.

Por otro lado, considerando la exposición ambiental, se lleva a cabo una prueba de estabilidad térmica para identificar el punto de ablandamiento del material bajo calor inducido.

Esta etapa experimental fue llevada a cabo en las instalaciones del SENA Tecnoparque Nodo Valle. Se contó con el soporte de sus equipos de medición y el acompañamiento de su equipo profesional.

13.1. Compresión

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia a compresión unidireccional realizados sobre probetas cúbicas de 41 mm de arista, elaboradas a partir de la mezcla de plástico reciclado fabricadas en Ecomayo. El objetivo principal de estas pruebas es determinar la capacidad del material para soportar cargas de aplastamiento y evaluar su integridad estructural. Se analizaron un total de seis muestras divididas en dos lotes de fabricación distintos lotes 1 y lote 2 para verificar la homogeneidad en el proceso de fabricación. Los datos obtenidos de esfuerzo-deformación y los valores mecánicos derivados permiten identificar el comportamiento del material y definir su carga máxima de rotura o fluencia.

Tabla 8 Resultados ensayo de compresión.

Lote de Fabricación	Muestra	Carga Máxima (kN)	Resistencia a la compresión [MPa]	Observación del Fallo
Lote 1	1.1	10.68	6.35	Deformación plástica sin fractura frágil
	1.2	12.63	7.51	Deformación plástica estable.
	1.3	12.29	7.31	Deformación plástica estable.
	Promedio Lote 1	11.87	7.06	Alta Consistencia
Lote 2	2.1	6.07	3.61	Baja resistencia / Posible porosidad
	2.2	6.25	3.72	Baja resistencia / Posible porosidad
	2.3	7.30	4.34	Mejor del lote, pero insuficiente
	Promedio Lote 2	6.54	3.89	Baja Consistencia

Los datos de esfuerzo-deformación obtenidas revelan un comportamiento típico de termoplásticos reciclados. A diferencia de materiales frágiles como la cerámica o el hormigón, las muestras no presentan una ruptura frágil inmediata. En su lugar, mostró una zona elástica inicial seguida de una amplia zona de deformación plástica,

Lote 1: Este grupo presentó el mejor desempeño mecánico. La carga promedio soportada fue de 11.87 kN aproximadamente 1.2 toneladas, con un esfuerzo máximo promedio de 7.06 MPa. Los datos mostraron una consistencia notable entre las tres muestras, indicando una mezcla y compactación homogéneas.

Lote 2: Este grupo mostró una reducción drástica en la resistencia mecánica. La carga promedio cayó a 6.54 kN aproximadamente 0.67 toneladas, lo que representa una disminución del 45% en comparación con el primer lote. El esfuerzo máximo promedio fue de apenas 3.89 MPa. Se evidencia que el material del Lote 1 demuestra una buena opción para la fabricación de las cubiertas.

Ilustración 12 *Prueba de compresión*



13.2. flexión

Para este ensayo se realizaron pruebas de flexión a tres puntos utilizando una distancia entre apoyos constante de 100mm. Se evaluaron muestras de dos lotes de fabricación distintos y probetas de diferentes dimensiones, ensayando vigas de mayor tamaño (38mm x 12mm) y de menor tamaño (19mm x 9 mm).

El objetivo de estas diferentes medidas es determinar el Módulo de Ruptura y el Módulo de Flexión para validar la rigidez estructural del material compuesto.

Tabla 9 *Resultados ensayo de flexión.*

Lote de fabricación	Muestra	Tamaño (mm)	Carga Máx	Módulo de ruptura	Módulo de flexión
1	1.1	38×12	0,54 kN	15,02 MPa	509,57 MPa
1	1.2	19×9	0,07 kN	6,92 MPa	41,31 MPa
1	1.3	19×9	0,08 kN	7,99 MPa	32,95 MPa
2	2.1	38×12	0,50 kN	13,89 MPa	273,09 MPa
2	2.2	38×12	0,54 kN	15,07 MPa	74,87 MPa
2	2.3	19×9	0,12 kN	12,15 MPa	68,44 MPa
2	2.4	19×9	0,12 kN	11,30 MPa	84,58 MPa

Al analizar cómo se comportan los dos lotes al someterlos a un esfuerzo de flexión se encuentran diferencias clave para la calidad de la cubierta. Al observar las piezas grandes, ambos materiales parecen funcionar igual, son resistentes y aguantan cargas fuertes sin problemas.

Sin embargo, al ensayar las piezas pequeñas, el Lote 1 perdió casi la mitad de su resistencia, lo que nos indica una rigidez mayor en el material lo hacen frágil en secciones delgadas.

Por el contrario, el Lote 2 se comportó de mejor manera: mantuvo su resistencia tanto en las piezas grandes como en las pequeñas.

Ilustración 13 *Prueba a flexión*



Finalmente, el análisis de los ensayos de compresión y flexión permite caracterizar el material no solo por su resistencia máxima, sino por su calidad estructural. Se concluye que la alta resistencia a la compresión observada en el Lote 1 no compensa su fragilidad y las características evidenciada en la flexión de secciones delgadas. Por último, se valida que el Lote 2 cuenta con la formulación óptima para el desarrollo de láminas, ya que ofrece un equilibrio mecánico más seguro y un comportamiento uniforme, minimizando la probabilidad de fracturas prematuras durante el transporte, instalación y vida útil del producto.

13.3. Prueba de estabilidad térmica

Es necesario evaluar el comportamiento del material frente a las condiciones de servicio como lo es la alta exposición solar. Para ello, se aplica un ensayo de estabilidad térmica bajo carga. Se utilizó una probeta rectangular de dimensiones 170 mm* 20mm* 8mm, dispuesta en un sistema de doble apoyo tipo puente.

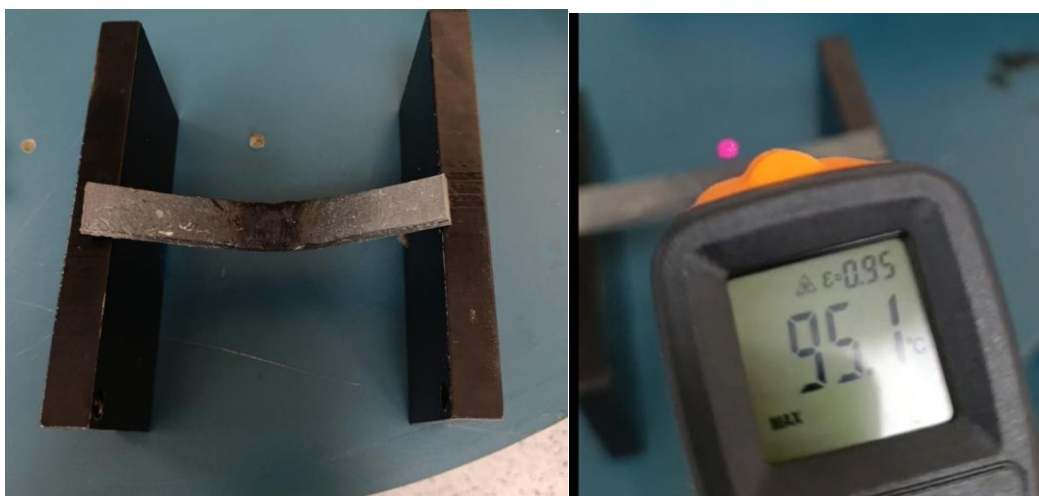
La inducción de calor se realizó mediante una Pistola de calor industrial marca TOTAL, (ref. UTB20036), aplicando calor directamente sobre el punto central de la muestra. El monitoreo de la temperatura superficial se llevó a cabo utilizando un termómetro infrarrojo (ref. GM550). El objetivo de la prueba fue determinar el punto de ablandamiento operativo, definido

como la temperatura máxima a la cual el material mantiene su geometría general antes de perder rigidez estructural significativa.

Los resultados indicaron que el material conserva su forma y estabilidad dimensional hasta alcanzar una temperatura de 95.1 grados centígrados. En este punto, no se observa degradación ni derretimiento del polímero, sino una transición hacia un estado flexible.

Este hallazgo es fundamental para la viabilidad del producto. Considerando que las temperaturas superficiales en cubiertas expuestas a radiación solar directa en climas tropicales oscilan particularmente entre los 55 grados centígrados y 70 grados centígrados, el umbral de resistencia de 95.1 ofrece un margen de seguridad térmica de aproximadamente 25 grados. Esto garantiza que la cubierta no sufrirá deformaciones permanentes por su propio peso durante los picos de calor.

Ilustración 14 *Prueba de estabilidad térmica*



14. Desarrollo de la Propuesta de Diseño y Prototipado

- **Concepto y configuración formal.**

La presente propuesta de diseño consiste en un sistema modular de cubierta rígida con perfil trapezoidal, pensando para ser fabricada mediante los procesos de extrusión y

compactación de una mezcla de HDPE Y LDPE. La forma estructural se basa en la alternancia de crestas y valles que otorgan rigidez estructural a la pieza permitiendo cubrir luces sin sufrir deflexiones excesivas.

El diseño geométrico facilita la evacuación agua proveniente de la lluvia mediante los amplios canales e inclinación de las caras laterales de los trapecios, el perfil de la teja y la inclinación recomendada evita acumulación de sedimentos y suciedad.

Ilustración 15 *Modelo 3D de la propuesta*



- **Especificaciones Geométricas y Dimensionales**

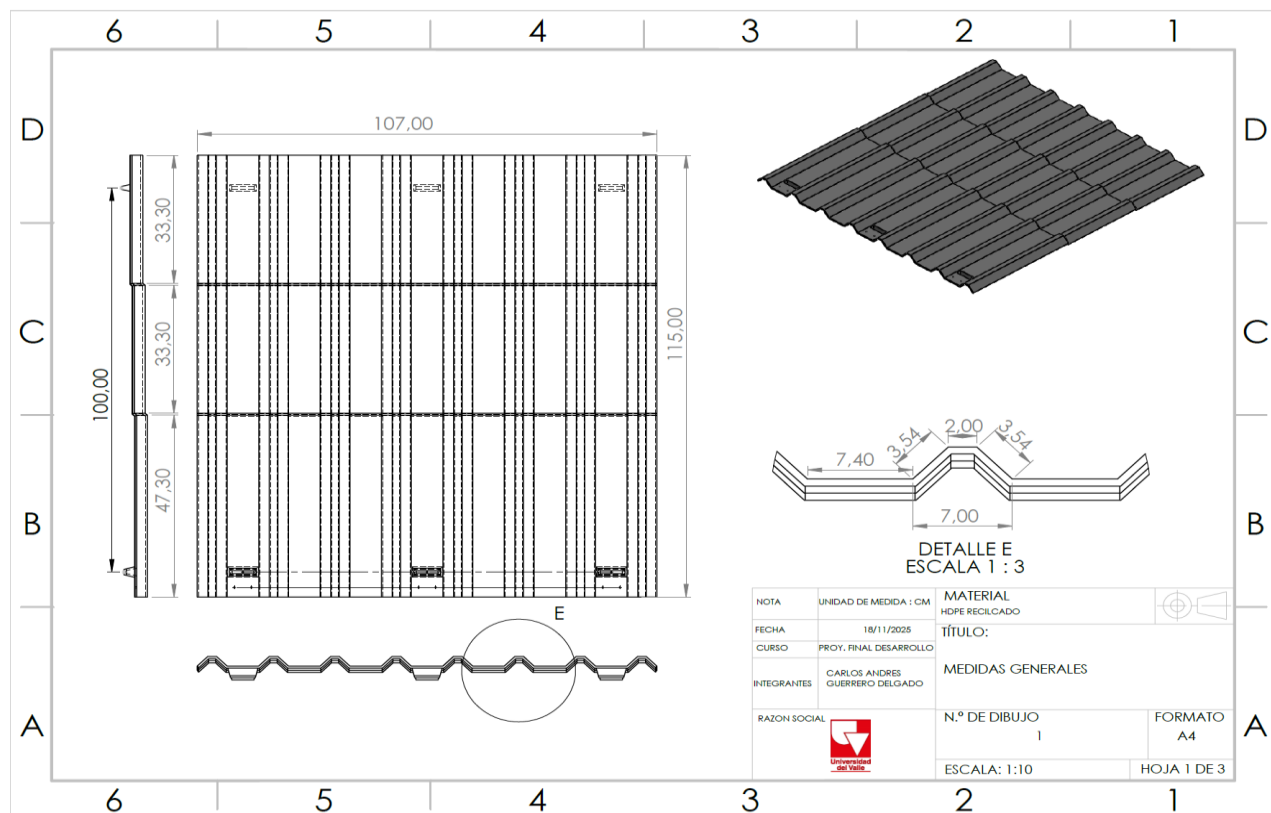
Buscando garantizar la compatibilidad con los estándares de lo disponible en el mercado y maquinaria disponible en la Fundación Ecomayo, se definieron las siguientes dimensiones:

- **Dimensiones generales:** Cada unidad tiene una longitud total de 115 cm y un ancho transversal de 107 cm, ofreciendo una cobertura efectiva tras el solape de 1 metro cuadrado.
- **Espesor y perfil:** Se establece un espesor de pared constante de 5.5 mm en toda la sección transversal para asegurar la resistencia mecánica y la estabilidad dimensional

ante cambios térmicos. La altura de la cresta es de 30.5 mm con un ancho superior de 20 mm, conectada a los valles mediante planos inclinados a 135° , geometría que facilita el desmolde de la pieza.

Adicional al perfil trapezoidal longitudinal, el diseño incorpora una geometría de escalonado transversal a lo largo del cuerpo de la teja. Este detalle, más allá de su aporte estético, cumple una función mecánica que es actuar como una nervadura que rigidiza e interrumpe la continuidad de las caras planas, con esto reduce significativamente el paneo ante cargas y mejorando la estabilidad dimensional de la pieza frente a la dilatación térmica propia del polímero reciclado.

- **Adaptabilidad de pendiente:** El diseño permite su instalación en cubiertas con pendientes que oscilan desde un mínimo de 15° (27%) hasta 35° (70%), garantizando así el escurrimiento efectivo del agua.
- **Ilustración 16 Plano técnico general**



- **Sistema de Ensamble y Fijación**

La instalación del sistema se logra mediante un mecanismo de encaje trapezoidal por superposición lateral. Este diseño contempla un perfil macho-hembra en los extremos laterales de la teja que asegura un acople con la siguiente, impidiendo la filtración de agua por capilaridad o viento.

Para la fijación a la estructura portante se recomienda el uso de tornillos para cubierta según el largo requerido por la estructura, se han dispuesto puntos de anclaje predefinidos:

Ubicación: La fijación se realiza preferiblemente en los valles números 1, 4 y 7 para garantizar la estabilidad contra la fuerza del viento.

Perforaciones: Se incluyen guías de perforación de 3mm, las cuales cuentan con una holgura de seguridad de 35 mm respecto a los bordes y nervios para evitar concentradores de esfuerzos que puedan fisurar el material durante la instalación.

Encaje longitudinal: Con el objetivo de preservar la integridad superficial y evitar perforaciones expuestas a la intemperie, se ha diseñado un sistema de acople longitudinal interno tipo caja-espigo trapezoidal. Este mecanismo permite unir las unidades entre sí de manera mecánica por medio de un tornillo desde el interior. Además, este acople predeterminado fuerza un traslape estratégico que actúa como barrera física, ocultando y protegiendo los tornillos de fijación a la estructura portante, garantizando así tanto la estanquidad del sistema como una estética limpia y continua.

Ilustración 17 *Forma de ensamblaje*

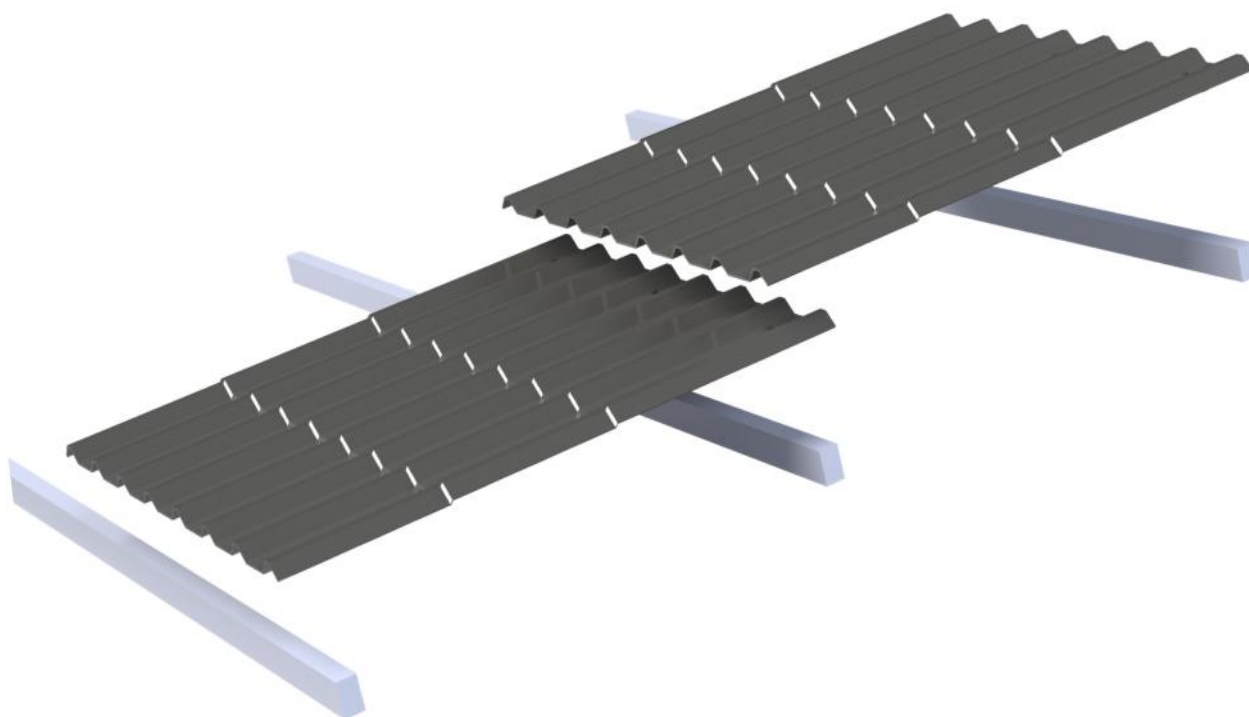
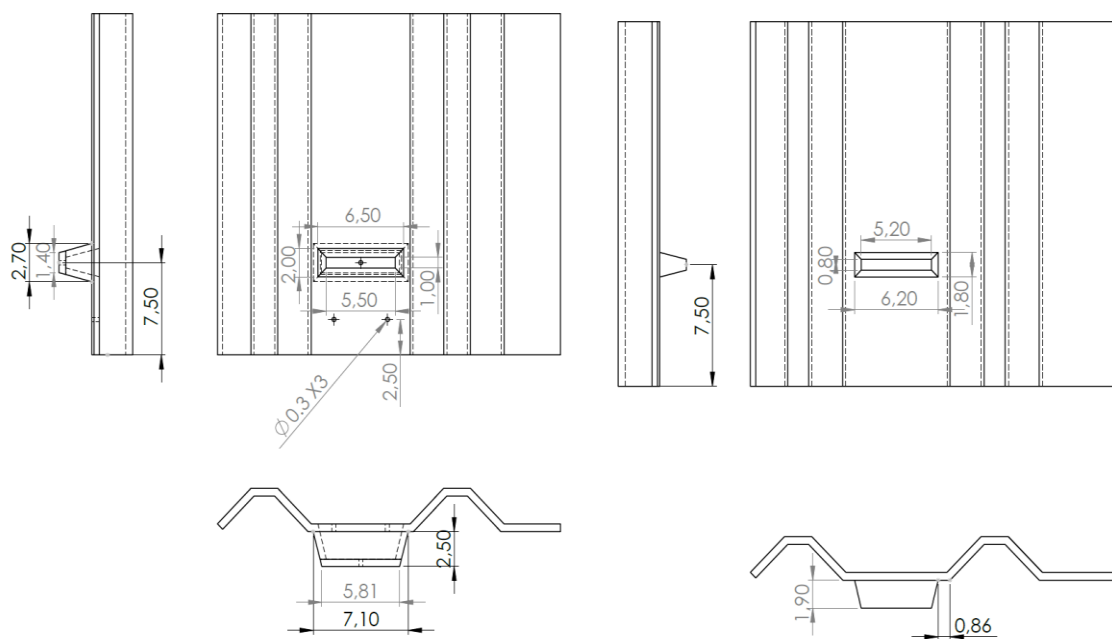


Ilustración 18 *medidas de encaje*

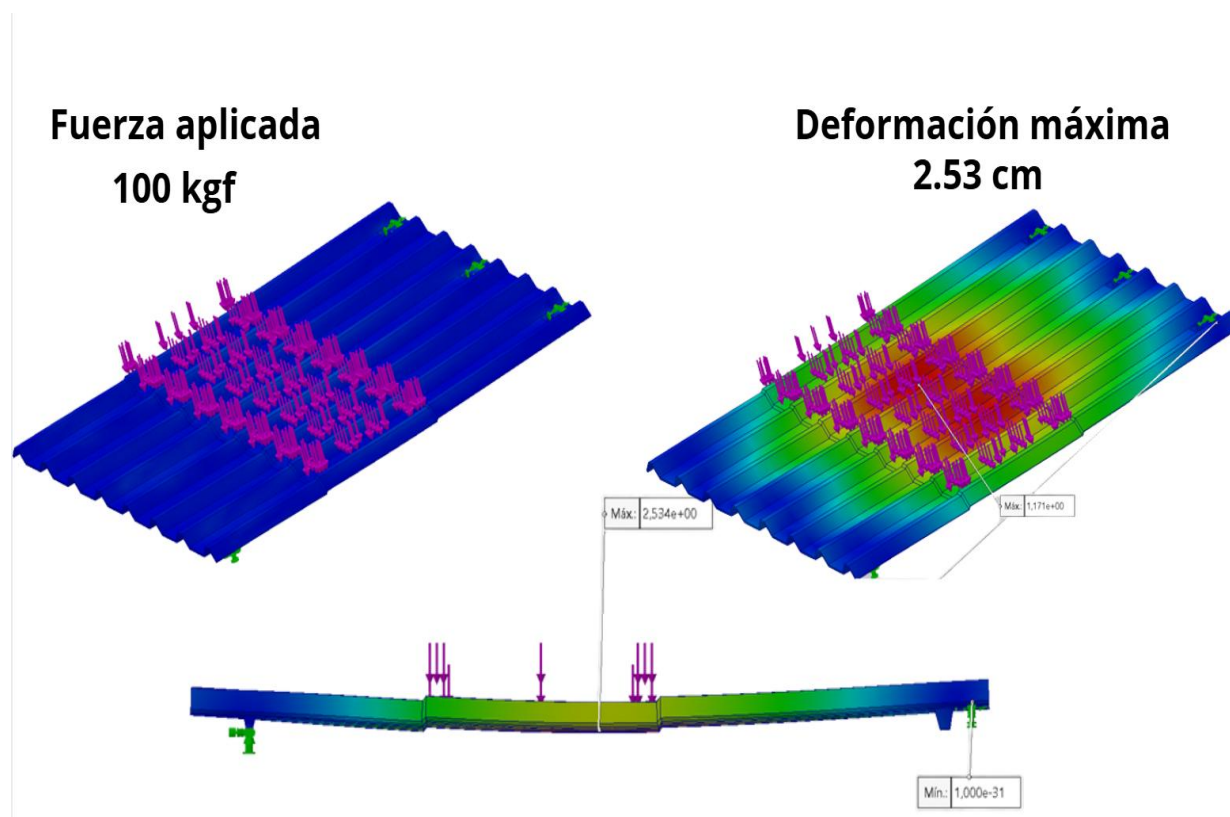


- **Validación Estructural (Simulación)**

Con el objetivo de verificar el comportamiento mecánico del material compuesto bajo condiciones de servicio como limpieza y mantenimiento, se realizó un análisis estático mediante el método de elementos finitos. Se simuló una carga distribuida de 100 kgf sobre la superficie central de la teja, representando una situación crítica de o carga eventual por granizo o viento fuerte.

Los resultados de la simulación indicaron una deformación máxima de 2.53 cm en la zona central de la luz. Este valor se considera aceptable, lo que indica que la pieza es capaz de recuperar su forma original sin sufrir cambios permanentes ni fractura ante cargas de servicio habituales.

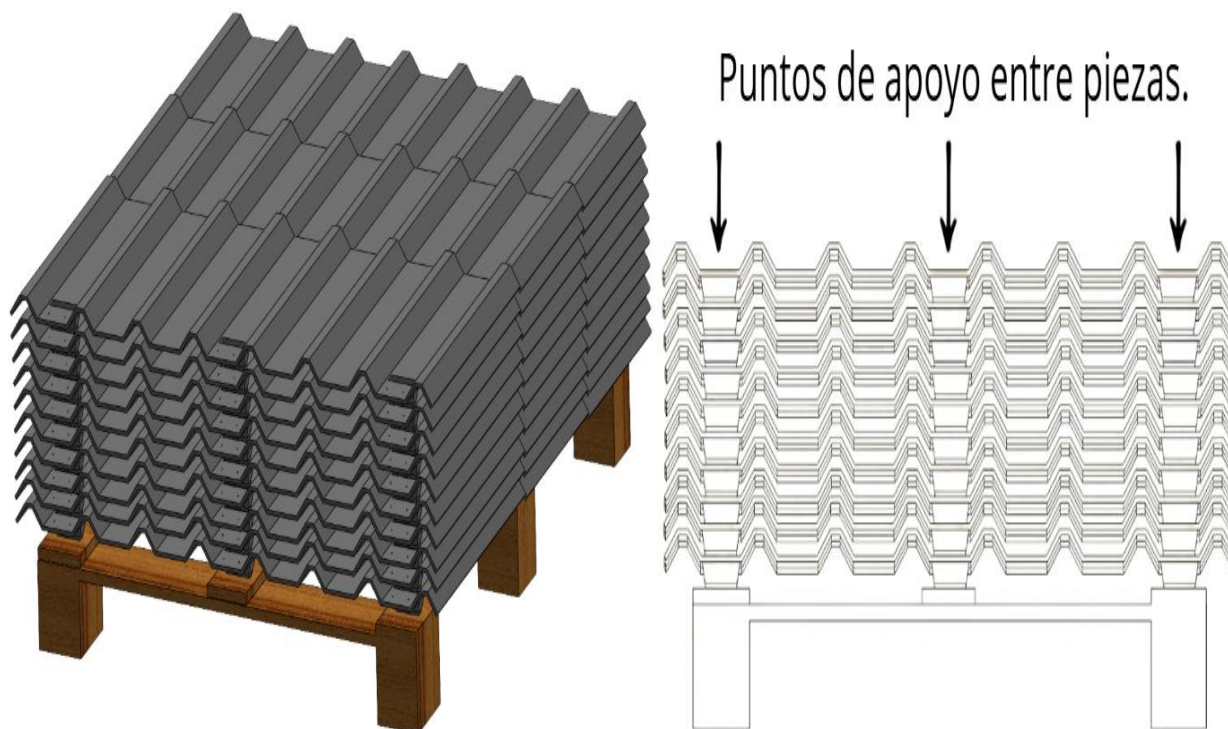
Ilustración 19 *Simulación de esfuerzos.*



- **Logística, Almacenamiento y Peso**

Desde la perspectiva logística y ergonómica, la propuesta ofrece mejoras significativas con respecto a los materiales tradicionales. Cada unidad tiene un peso de **7.5 kg** (simulación), lo que resulta un 36% más ligero que una teja equivalente en fibro-cemento que es de aproximadamente 11.82 kg. Esta reducción de peso disminuye la carga muerta sobre la estructura de la vivienda y facilita la manipulación manual por parte de los instaladores, reduciendo el riesgo de lesiones o accidentes. Asimismo, la geometría del perfil permite un apilamiento eficiente ya que los puntos de apoyo entre piezas son determinados por las salientes correspondiente a la caja y espigo del sistema de encaje, al almacenar estibas de 10 unidades con un peso total de 75 kg, la carga se transmite verticalmente sin deformar las tejas inferiores.

Ilustración 20 *Sistema de almacenamiento y transporte*



- **Análisis de Costos.**

La viabilidad económica del proyecto se fundamenta en el uso de materia prima recuperada. El costo directo de fabricación se calculó en \$12.354 COP por unidad, desglosado principalmente en materia prima (\$3.022 COP), energía eléctrica (\$4.000 COP) y mano de obra (\$2.273 COP).

Proyectando un margen de utilidad del 30% para la sostenibilidad de la Fundación Ecomayo, el precio de venta sugerido es de \$16.060 COP. Al contrastar este valor con el mercado actual, la teja de plástico reciclado se posiciona como una alternativa altamente competitiva, costando aproximadamente la mitad que una *Teja Ondulada No 4 Eternit* (\$28.700 COP). Esto demuestra que la propuesta no solo es técnicamente viable y ecológicamente responsable, sino también accesible para la comunidad de La Cruz

Tabla 10 *Análisis de Costos*

Categoría	Concepto	Descripción / Base de cálculo	Costo (COP)
Costos Directos	• Materia prima (HDPE + LDPE reciclado)	7.55 kg×400 COP/kg	3.022
	• Energía eléctrica	4.000 COP por unidad	4.000
	• Mano de obra directa	15 min (0.25 h)×9.091 ,25 COP/h	2.273
	• Mantenimiento y depreciación	Por unidad	1.000

Costos indirectos (20%)	Agua, alquiler, herramientas, control, administración	20%de los costos directos	1.901
Costo total de fabricación			12.354
Precio con margen del 20%			14.825
Precio con margen del 30%			16.060

15. Prototipado de propuesta.

Desarrollo del Prototipo y Construcción de herramientas.

Esta fase describe la materialización de los elementos necesarios para la manufactura de la cubierta trapezoidal. El sistema se compone de un molde de compresión de dos cuerpos y una boquilla de extrusión adaptada a la extrusora de la Fundación.

- **Diseño y Fabricación del Molde**

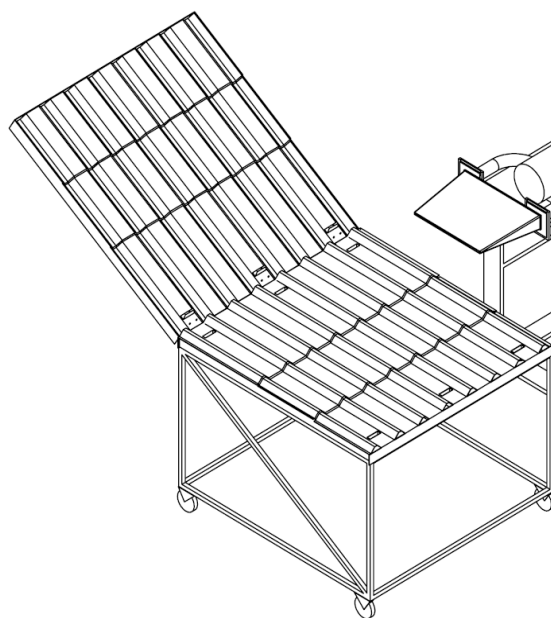
Para el conformado de la teja, se fabrica un molde tipo "libro" compuesto por dos cuerpos principales: Molde Tapa Superior y Molde Tapa Inferior. El diseño garantiza la fidelidad dimensional del perfil trapezoidal y la texturización del producto final.

- **Materiales:** La estructura del molde fue fabricada utilizando una combinación de Acero al Carbono y Acero Galvanizado. Esta selección de materiales asegura la resistencia térmica necesaria para soportar la temperatura del polímero fundido y ofrece protección

contra la corrosión debido a la exposición a la intemperie y humedad durante el enfriamiento.

- **Dimensiones del molde:** El montaje completo presenta unas dimensiones generales de **107.93 cm** de ancho por **116.00 cm** de largo, con una altura de perfil de **6.74 cm**. Estas cotas permiten obtener el producto final con el área útil de cobertura planteada en el diseño.
- **Sistema de Articulación:** Para facilitar la apertura, cierre y desmolde manual por parte de los operarios, se integraron al sistema bisagras tipo cápsula de 15 mm. Este mecanismo asegura la alineación precisa entre el macho y la hembra durante el prensado.

Ilustración 21 *Molde de compactación*

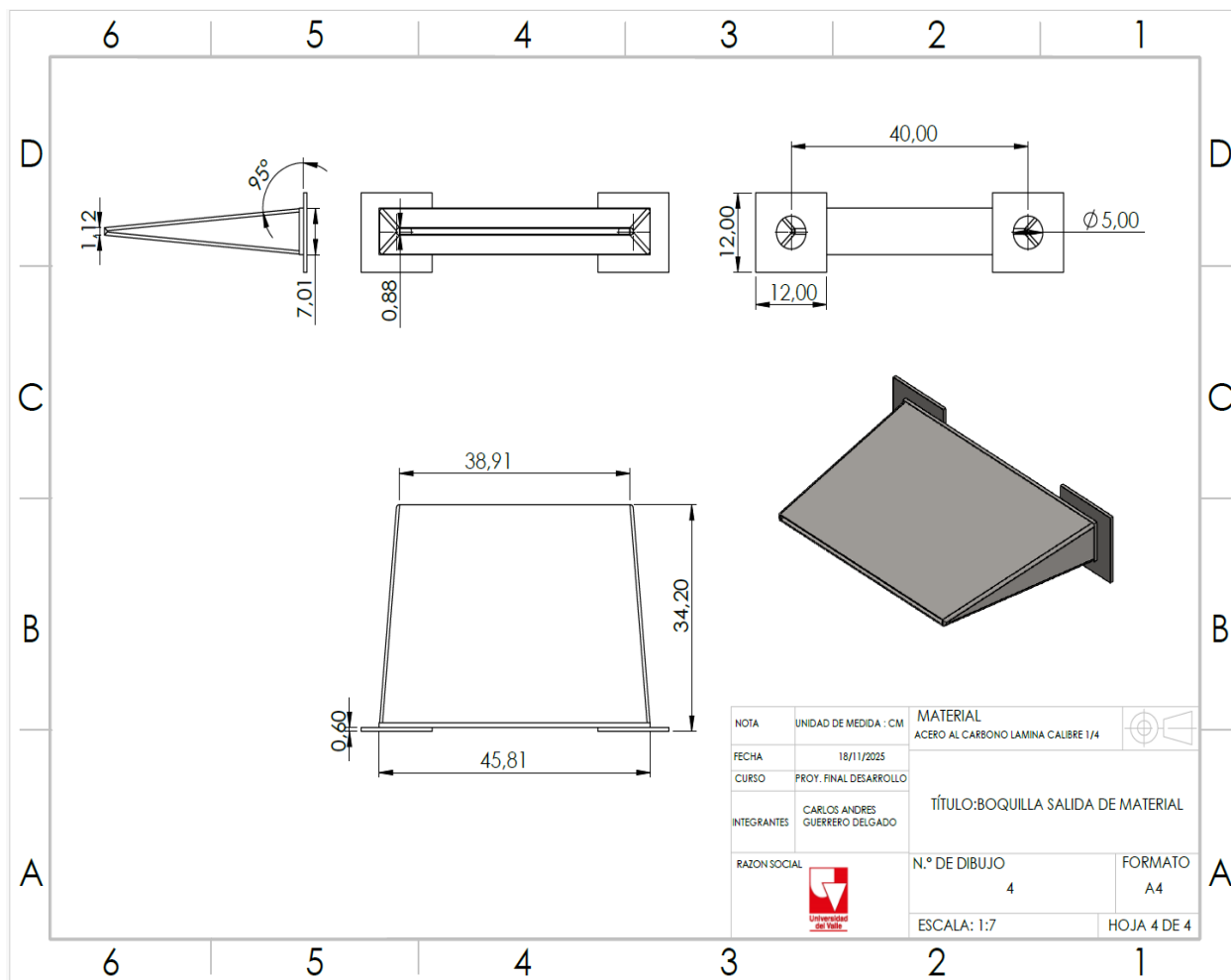


- **Adaptación del Sistema de Extrusión.**

Para controlar el flujo del material plástico desde la extrusora hacia el molde, se diseñó una Boquilla de Salida de Material.

- **Especificaciones Técnicas:** La boquilla se plantea en lámina de acero al carbono calibre ¼ de pulgada, lo que le otorga la robustez necesaria para resistir la presión de salida del material viscoso.
- **Geometría:** La pieza cuenta con una geometría angular de 95° y un ancho de salida de 40.00 cm y 0.88cm de espesor, diseñada para producir una lámina de material de forma uniforme antes de ser depositado en la cavidad del molde, optimizando el tiempo de carga y la homogeneidad del vertido.

Ilustración 22 *Boquilla de Salida de Material*



- **Pruebas de Manufactura y Validación**

El proceso de validación experimental se llevó a cabo en las instalaciones de la Fundación Ecomayo, siguiendo la secuencia operativa definida sistema planteado.

Extrusión y Dosificación: El material fundido es dirigido a través de la boquilla de acero, permitiendo obtener una lámina de material con el volumen adecuado para llenar el molde de 107.93 x 116.00 cm.

Prensado y Conformado: Se deposita la masa en el Molde Tapa Inferior y se procede al cierre mediante el sistema de bisagras tipo cápsula. Se aplica presión externa para obligar al material a fluir y copiar las crestas y valles del diseño.

Enfriamiento: El uso de acero al carbono y galvanizado facilita la disipación de calor y al ingresar al tanque de enfriamiento facilita el intercambio térmico. Tras un periodo de estabilización, se procede a la apertura del molde y extracción de la teja rígida.

Ilustración 23 *Pruebas de manufactura y validación*





Previo a la prueba directa con el polímero fundido, se realizó una fase de pruebas con el objetivo de verificar la calidad de copiado del molde, la homogeneidad de la superficie y la detección temprana de imperfecciones la fabricación de este detectando poros, rebabas o desalineaciones del molde.

Esta prueba realizo vertiendo una mezcla de papel triturado con un porcentaje de cemento usado como aglutinante y directamente prensado en el molde.

Esta prueba permitió validar la fidelidad dimensional del molde y confirmar que los ángulos de desmolde (135°) funcionan correctamente, permitiendo la extracción de la pieza sin dificultad. Asimismo, se comprobó la homogeneidad en la textura de la superficie y el calibre de la pieza.

Ilustración 24 *Pruebas auxiliares*



16. Evaluación y Validación de la Propuesta Final

En este apartado se evalúa el desarrollo de una solución optimizada para la maquinaria específica de la Fundación Ecomayo, se procede a evaluar la propuesta de **Cubierta Trapezoidal** frente a los requerimientos y determinantes establecidos en la sección 10.3.

Esta evaluación permite cuantificar el nivel de cumplimiento del diseño final, utilizando la escala de valoración definida previamente

- **Aplicación de la Matriz de Evaluación**

A continuación, se califica la propuesta de diseño basándose en los resultados de las pruebas mecánicas, simulaciones y análisis de costos realizados:

Tabla 11 Matriz Evaluativa

Objetivo / Requerimiento	Criterio de Evaluación (Resultado obtenido)	Puntaje Asignado
1.FUNCIONALIDAD		
TÉCNICA (30%)		
Resistencia a cargas	Excelente: La simulación validó una resistencia a cargas de servicio de 100 kgf con recuperación elástica.	3
Estanqueidad	Excelente: El diseño de encaje trapezoidal lateral y traslape interno garantiza la integridad y protege las fijaciones.	3
Durabilidad	Excelente: El material HDPE/LDPE no es afectado por la corrosión y resistente a la humedad. La prueba térmica validó estabilidad hasta 95.1°C.	3
Facilidad de instalación	Bueno: Requiere herramientas estándar (taladro/atornillador) y tornillería comercial.	2
Subtotal Ponderado	Cumplimiento alto de los requerimientos mecánicos.	2.75
2. VIABILIDAD		
ECONÓMICA (25%)		
Costo de producción	Excelente: El costo unitario es de \$12.354 COP, muy por debajo del límite de \$50.000 COP establecido.	3

Precio de venta	Excelente: Precio sugerido de \$16.060 COP vs. \$28.700 COP de la competencia (ahorro del 44%).	3
Uso de recursos locales	Alto: 100% materia prima recuperada localmente y mano de obra de la fundación.	3
Subtotal Ponderado	El producto es altamente rentable y competitivo.	3
3. SOSTENIBILIDAD		
(20%)		
% Plástico reciclado	Excelente: La matriz es 100% polímero recuperado (mezcla aglutinada).	3
Adaptación a ODS	Excelente: Impacta directamente los ODS 8, 9, 12 y 13.	4
Disminución de residuos	Excelente: El proceso de moldeo permite volver a triturar rebabas, logrando desperdicio técnico cercano a cero.	3
Subtotal Ponderado	Máximo impacto ambiental positivo.	3.3
4. ADAPTABILIDAD		
(15%)		
Compatibilidad maquinaria	Excelente: El molde y la boquilla fueron diseñados específicamente para la extrusora Hausen de 150mm existente.	3
Tiempo de producción	Bueno: El enfriamiento en molde de acero requiere tiempos de espera (20-40 min) para evitar deformaciones.	2
Subtotal Ponderado	Integración exitosa a la línea de producción.	2.5

5. ACEPTACIÓN

MERCADO (10%)

Competitividad	Excelente: Ventaja significativa en precio y peso (7.5 kg vs 11.8 kg).	3
Percepción estética	Excelente: Acabado texturizado y color uniforme tipo industrial.	3
Subtotal Ponderado	Alta probabilidad de adopción.	3

• Análisis de Resultados de la Evaluación

La propuesta de diseño final cuenta con una calificación sobresaliente en los aspectos de Viabilidad Económica y Sostenibilidad, logrando fabricar un producto un 44% más económico que la alternativa tradicional del mercado y utilizando insumos 100% reciclados.

En el aspecto de Funcionalidad Técnica, el producto demostró en las pruebas de laboratorio que la mezcla del lote 2 y simulaciones digitales tiene un comportamiento estructural seguro, superando el requerimiento mínimo de carga de 50 kg/m² al soportar 100 kgf puntuales.

Si bien el criterio de Adaptabilidad recibió una puntuación de 2 puntos en tiempos de producción debido a las limitaciones físicas de enfriamiento del polímero dentro de un molde de acero, esto no afecta la viabilidad del proyecto, sino que plantea un punto de mejora futura mediante sistemas de enfriamiento por agua más agresivos.

17. Conclusiones

Validación del Material: Se concluye que el plástico reciclado mezcla HDPE 90% y LDPE 10% es técnicamente viable para aplicaciones estructurales ligeras. Los ensayos mecánicos demostraron que, aunque el Lote 1 tenía mayor resistencia a la compresión, el Lote

2 presentó un comportamiento más dúctil y seguro a la flexión, siendo la formulación seleccionada para evitar fracturas frágiles durante la instalación y uso.

Eficiencia del Sistema Productivo: La implementación de la boquilla de extrusión en acero y el molde de compresión con bisagras permite optimizar el flujo de trabajo en la Fundación Ecomayo. El sistema es compatible con la extrusora de 150mm existente, eliminando la necesidad de inversiones en maquinaria nueva y validando la adaptabilidad del diseño.

Viabilidad Económica: El análisis de costos arroja resultados positivos, con un costo de producción unitario de \$12.354 COP. Esto permite establecer un precio de venta sugerido de \$16.060 COP, logrando un margen de utilidad del 30% para la Fundación y ofreciendo al mercado un producto 44% más económico que la teja de fibro--cimento tradicional N4.

Resistencia Térmica: La prueba de estabilidad térmica garantizó que la cubierta mantiene su integridad geométrica hasta los 95.1°C. Considerando que la temperatura ambiente promedio en La Cruz es de 20°C, el producto ofrece un amplio margen de seguridad contra deformaciones por radiación solar.

18. Anexos

- Evidencia fotográfica

https://drive.google.com/drive/folders/1N1-0yb3nJlwdq3fs9VnJU3JK_yltqQw5?usp=sharing

19. Referencias

- Bioestibas S.A.S., (s.f.). *Bioestibas – Estibas plásticas ecológicas 100% recicladas*. Obtenido de Bioestibas S.A.S.: <https://www.bioestibas.com/>
- PNUMA. (2023). *Todo lo que necesitas saber sobre la contaminación por plásticos*. Recuperado el 5 de 04 de 2025, de <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-la-contaminacion-por-plasticos#:~:text=Este%20material%20se%20fabrica%20a,%2C4%25%20del%20total%20mundial.>
- Alcaldía de La Cruz, Nariño. (2020). *Plan de desarrollo: Una minga para el progreso de todos, La Cruz, Nariño 2020-2023*. La Cruz, Nariño: Alcaldía de La Cruz. Obtenido de https://alcaldialacruznarino.micolombiadigital.gov.co/sites/alcaldialacruznarino/content/files/000561/28035_1-plan-de-desarrollo-una-minga-para-el-progreso-de-todos-la-cruz-narino-2020--2023-1.pdf
- Álvarez, S. M. (27 de 06 de 2023). *Polietileno: un panorama sobre sus propiedades, aplicaciones y futuro*. Obtenido de Plastico.com: <https://www.plastico.com/es/noticias/polietileno-un-panorama-sobre-sus-propiedades-aplicaciones-y-futuro>
- Arandes Esteban, J. M., Bilbao Elorriaga, J., & López Valerio, D. (2004). Reciclado de residuos plásticos. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 5(1), 28-45. Recuperado el 03 de 26 de

2025, de <https://arpet.org/docs/Reciclado-de-residuos-plasticos-Revista-Iberoamericana-de-Polimeros.pdf>

Asociación Española de Normalización (UNE). (2017). *Plásticos. Identificación genérica y marcado de productos plásticos. (ISO 11469:2016)*. Madrid, España: UNE-EN ISO 11469:2017. Obtenido de <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0057859>

ASTM International. (2020). *ASTM E0108-20a - Métodos de prueba estándar para pruebas de fuego de cubiertas de techos*. West Conshohocken, PA, EE.UU.: ASTM International. Obtenido de <https://www.astm.org/e0108-20a.html>

ASTM International. (2021). *ASTM D7611/D7611M-21 - Standard Practice for Coding Plastic Manufactured Articles for Resin Identification*. West Conshohocken, PA, EE.UU.: ASTM International. Obtenido de https://www.astm.org/d7611_d7611m-21.html

Ayala Valderrama, J. C. (2019). Estudio de factibilidad para la instalación de una planta, para la transformación de los residuos plásticos PET, para la generación de nuevos productos en la Escuela Militar de Suboficiales. *Revista De Investigación, Ciencia Y Tecnología*, 58–63. Recuperado el 03 de 20 de 2025, de <https://revistascedoc.com/index.php/rict/article/view/115>

Congreso de Colombia. (2022). *Ley 2232*. Diario Oficial No. 52.126. Recuperado el 12 de 03 de 2025, de <https://www.minambiente.gov.co/documento-normativa/ley-2232-de-2022/>

DAGMA. (2022). *Informe ambiental Cali Cómo Vamos*. Santiago de Cali. Obtenido de <https://www.cali.gov.co/loader.php?IServicio=Tools2&ITipo=descargas&IFuncion=visorpdf&file=https%3A%2F%2Fwww.cali.gov.co%2Floader.php%3FIServicio%3DTools2%26ITipo%3Ddescargas%26IFuncion%3DexposeDocument%26idFile%3D74567%26tmp%3D906b8820e6538edccf68ad08f43>

DANE. (2018). *Censo nacional de población y vivienda*. bogota. Obtenido de

<https://sitios.dane.gov.co/cnpv/app/views/informacion/fichas/52.pdf>

Domiciliarios, S. d. (2023). *Informe Nacional de Disposición Final de Residuos Sólidos*. Bogotá:

Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. Recuperado el 10 de 03 de 2025,

de [https://www.superservicios.gov.co/sites/default/files/inline-files/Informe-Nacional-de-](https://www.superservicios.gov.co/sites/default/files/inline-files/Informe-Nacional-de-Disposicion-Final-de-Residuos-Solidos.pdf)

[Disposicion-Final-de-Residuos-Solidos.pdf](https://www.superservicios.gov.co/sites/default/files/inline-files/Informe-Nacional-de-Disposicion-Final-de-Residuos-Solidos.pdf)

Económica, L. N. (27 de 11 de 2023). ¡Colombia es pionera en Latinoamérica en producir

Polipropileno Circular! *La Nota Económica*. Obtenido de

[https://lanotaeconomica.com.co/movidas-empresarial/colombia-es-pionera-en-](https://lanotaeconomica.com.co/movidas-empresarial/colombia-es-pionera-en-latinoamerica-en-producir-polipropileno-circular/)

[latinoamerica-en-producir-polipropileno-circular/](https://lanotaeconomica.com.co/movidas-empresarial/colombia-es-pionera-en-latinoamerica-en-producir-polipropileno-circular/)

Fernandez Cuesta , C., & Cabezas Ares, A. M. (2002). Unas definiciones polémicas. *Técnica*

contable, 54, 565-574. Recuperado el 12 de 03 de 2025, de

<https://portalcientifico.unileon.es/documentos/62638396cfcef30a48b966d8>

ICONTEC. (2022). *NTC 6632*. ICONTEC. ICONTEC. Recuperado el 03 de 04 de 2025, de

[https://tienda.icontec.org/gp-ntc-plasticos-plasticos-recicladostrazabilidad-y-evaluacion-](https://tienda.icontec.org/gp-ntc-plasticos-plasticos-recicladostrazabilidad-y-evaluacion-de-conformidad-del-reciclado-de-plasticos-y-contenido-en-reciclado-ntc6632-2022.html)

[de-conformidad-del-reciclado-de-plasticos-y-contenido-en-reciclado-ntc6632-2022.html](https://tienda.icontec.org/gp-ntc-plasticos-plasticos-recicladostrazabilidad-y-evaluacion-de-conformidad-del-reciclado-de-plasticos-y-contenido-en-reciclado-ntc6632-2022.html)

ICONTEC. (2024). *NTC 6740*. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.

Recuperado el 29 de 03 de 2025, de [https://tienda.icontec.org/gp-ntc-plasticos-plasticos-recicladostrazabilidad-y-evaluacion-](https://tienda.icontec.org/gp-ntc-plasticos-plasticos-recicladostrazabilidad-y-evaluacion-de-conformidad-del-reciclado-de-plasticos-y-contenido-en-reciclado-ntc6632-2022.html)

[asticos-recicladostrazabilidad-y-evaluacion-de-conformidad-del-reciclado-de-plasticos-y-contenido-en-reciclado-ntc6632-2022.html](https://tienda.icontec.org/gp-ntc-plasticos-plasticos-recicladostrazabilidad-y-evaluacion-de-conformidad-del-reciclado-de-plasticos-y-contenido-en-reciclado-ntc6632-2022.html)

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (1999). *NTC 6632:2022-*

Ingeniería civil y arquitectura. Tejas de concreto. Bogotá, Colombia: ICONTEC. Obtenido

de <https://ecollection-icontec-org.bd.univalle.edu.co/normavw.aspx?ID=3711>

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2022). *NTC 6632:2022 -*

Plásticos. Plásticos reciclados. Trazabilidad y evaluación de conformidad del reciclado

- de plásticos y contenido en reciclado*. Bogotá, Colombia: ICONTEC. Obtenido de <https://ecollection-icontec-org.bd.univalle.edu.co/normavw.aspx?ID=102273>
- Lett, L. A. (2014). Las amenazas globales, el reciclaje de residuos y el concepto de economía circular,. *Revista Argentina de Microbiología*, Pages 1-2. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0325754114700392>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). *Resolución 1407*. Recuperado el 15 de 03 de 2025, de <https://www.minambiente.gov.co/documento-normativa/resolucion-1407-de-2018/>
- Naciones Unidas. (2015). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Recuperado el 24 de 03 de 2025, de Naciones Unidas: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/>
- Naeco. (02 de 05 de 2023). *Naeco*. Recuperado el 06 de 03 de 2025, de <https://naeco.com/es/actualidad/historia-del-plastico/>
- Nariño, G. d. (03 de 02 de 2025). *Nariño convierte el plástico en una oportunidad: Alianza por el reciclaje y la economía circular*. Obtenido de Gobernación de Nariño: <https://narino.gov.co/noticias/narino-convierte-el-plastico-en-una-oportunidad-alianza-por-el-reciclaje-y-la-economia-circular/>
- Plastic, P. (s.f.). *Mission* . Obtenido de Precious Plastic: <https://www.preciousplastic.com/about/mission>
- Plásticas, E. M. (s.f.). *Eco Maderas Plásticas*. Obtenido de Eco Maderas Plásticas: <https://ecomaderasplasticas.com/>
- Presidencia de la República de Colombia. (2016). *DECRETO 596 DE 2016*. Diario Oficial No. 49.841. Recuperado el 27 de 03 de 2025, de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=69038>

Rodríguez Morales, V. B.-C. (2011). La protección del medio ambiente y la salud, un desafío social y ético actual. *Revista Cubana de Salud Pública*, 510-518. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=21421364015>

Ruano, S. P. (2024). *Contexto del Municipio de La Cruz – Nariño*. San Juan de Pasto: Univercidad de Nariño. Obtenido de <https://cedre.udenar.edu.co/wp-content/uploads/2024/08/CONTEXTO-DE-LA-CRUZ.pdf>

SuperServicios. (2024). *INFORME NACIONAL DE DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS 2023*. Bogota DC. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://www.superservicios.gov.co/sites/default/files/inline-files/Informe-Nacional-de-Disposicion-Final-de-Residuos-Solidos-2023.pdf>

WWF Colombia. (2018). *Glosario ambiental: ¿Qué es el plástico?* Recuperado el 22 de 03 de 2025, de WWF Colombia: <https://www.wwf.org.co/?328912/Glosario-ambiental-Que-es-el-plastico>

WWF Colombia. (2023). *WWF se une al Pacto por los Plásticos en Colombia*. WWF Colombia. Obtenido de <https://www.wwf.org.co/?381452/WWF-se-une-al-Pacto-por-los-Plasticos-en-Colombia>