

**Diseño y evaluación de un proceso productivo para la transformación de zunchos plásticos
post-consumo en productos funcionales bajo un enfoque de economía circular**

Danobis Jesit Porras Matenzo

Asesor

Victor Hugo Rodriguez Sanchez

Universidad Nacional Abierta y A Distancia – UNAD

Escuela de ciencias básicas, ingenierías y tecnologías

Ingeniería Industrial

2026

Agradecimientos

Agradezco en primer lugar a Dios por brindarme la fortaleza, la sabiduría y la perseverancia necesarias para culminar esta etapa académica y desarrollar este proyecto de investigación.

Expreso mi gratitud a mi familia por su apoyo incondicional, motivación constante y acompañamiento durante todo el proceso formativo, siendo un pilar fundamental en el logro de este objetivo profesional.

De igual manera, agradezco a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD y a los docentes del programa por compartir sus conocimientos, orientaciones y experiencias, las cuales contribuyeron significativamente al desarrollo de este trabajo.

Especial reconocimiento a la directora del proyecto por su acompañamiento académico, disposición y orientación durante cada una de las etapas de la investigación.

De manera muy especial, agradezco a Maria Alejandra Restrepo, quien estuvo presente durante todo el desarrollo de este proyecto brindándome apoyo, motivación y fortaleza en cada etapa del proceso. Su compañía, paciencia y confianza fueron esenciales para superar los desafíos académicos y personales que surgieron durante este camino. Gracias por creer en mí incluso en los momentos más difíciles y por convertirse en un apoyo fundamental para alcanzar esta meta profesional.

Finalmente, agradezco a todas las personas y organizaciones que hicieron posible la realización de este proyecto, permitiendo fortalecer una propuesta enfocada en la sostenibilidad, la economía circular y el aprovechamiento de residuos plásticos como alternativa de innovación dentro del entorno industrial.

Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo diseñar un proceso productivo para la transformación de zunchos plásticos post-consumo en productos funcionales, bajo un enfoque de economía circular, por lo tanto, la metodología incluyó el diagnóstico del material, el diseño del proceso y el desarrollo de prototipos como estrategia de validación técnica.

Se elaboraron tres prototipos principales: un bolso para mercar, un bolso de mano y uno de manos libres, lo que permitió analizar el comportamiento del material reciclado en diferentes aplicaciones. Cabe resaltar que, durante el proceso se evidenció que, aunque los zunchos plásticos presentan rigidez que dificulta su manipulación, es posible transformarlos mediante técnicas de entrelazado manual para obtener productos estructuralmente funcionales.

En conclusión, el proceso propuesto demuestra viabilidad técnica y constituye una alternativa para el aprovechamiento de residuos plásticos, contribuyendo a la reducción de desechos y al fortalecimiento de prácticas de economía circular

***Palabras claves:** Economía circular, zunchos plásticos, prototipos, aprovechamiento de residuos, reciclaje.*

Abstract

This study aims to design a production process for transforming post-consumer plastic strapping into functional products under a circular economy approach. The methodology included material diagnosis, process design, and prototype development as a strategy for technical validation.

Three main prototypes were developed: a shopping bag, a handbag, and a crossbody bag, allowing the analysis of the recycled material behavior in different applications. The results showed that, although plastic strapping has rigidity that makes handling difficult, it can be transformed through manual weaving techniques to obtain structurally functional products.

In conclusion, the proposed process demonstrates technical feasibility and represents an alternative for plastic waste utilization, contributing to waste reduction and the promotion of circular economy practices.

Keywords: *Circular economy, plastic strapping, prototypes, waste utilization, recycling*

Tabla de Contenido

Lista de Figuras	10
Lista de Tablas	9
Introducción	11
Justificación.....	12
Objetivos	14
Objetivo General.....	14
Objetivos Específicos	14
Marco Conceptual	15
Marco Teórico	20
La logística y la cadena de suministro en la industria	20
<i>Importancia de la logística industrial en la eficiencia operativa</i>	20
<i>Estructura e interdependencia en la cadena de suministro</i>	21
<i>Logística convencional versus logística sostenible</i>	21
<i>Logística interna: flujos de materiales y aprovechamiento de residuos</i>	22
Gestión de residuos sólidos industriales: enfoque estratégico.....	23
Zunchos plásticos: propiedades, usos y retos post-consumo.....	23
<i>Caracterización técnica del zuncho plástico</i>	23
<i>Función logística y uso operativo</i>	24
<i>Zuncho post-consumo: de recurso logístico a residuo no valorizado</i>	25

<i>Potencial de valorización del zuncho plástico</i>	25
Logística inversa y economía circular: modelos de valorización.....	26
<i>Introducción: nuevos paradigmas logísticos</i>	26
<i>Logística inversa: definición, procesos y beneficios</i>	26
<i>Economía circular: principios y aplicación industrial</i>	27
Marco Legal	29
Marco normativo internacional	29
Marco normativo nacional (Colombia)	30
Implicaciones legales.....	31
Antecedentes	34
Artesanías con zuncho plástico en Antioquia y Valle del Cauca (Colombia).....	35
Emprendimientos centroamericanos de bolsos con zuncho reciclado (Guatemala y El Salvador)	35
Reciclaje mecánico de zuncho PP en Bogotá y Cali	36
Sistemas de logística inversa para zuncho plástico en Europa.....	36
Proyectos de mobiliario y decoración con zuncho en México	36
Análisis e Identificación de Puntos Críticos en la Cadena De Suministro.....	38
Recepción de mercancías (Inbound).....	39
Almacenamiento y operaciones internas de bodega.....	40
Producción y proceso interno	41

Empaque, embalaje y despacho (Outbound)	42
Transporte y centros logísticos externos	42
Diagnostico.....	44
Diagrama SIPOC del proceso actual	44
Análisis DOFA del sistema actual.....	50
Definición de los Módulos de la Estación Modular	58
Módulo de recepción y descarga del material:	58
Módulo de clasificación y selección.....	59
Módulo de limpieza y pretratamiento.....	60
Módulo de acondicionamiento dimensional.....	60
Módulo de almacenamiento intermedio	61
Módulo de preformado y adaptación del material (Pre-manufactura)	61
Módulo de fabricación del artículo (Manufactura principal)	62
Módulo de acabados, ensamble final y control de calidad	63
Fichas Técnicas de los Módulos de la Estación Modular	65
Diseño del Flujo Operativo del Proceso de Transformación del Zuncho	68
Desarrollo de Prototipos de Productos	75
Selección y preparación del material.....	76
Elaboración de plantillas y definición de moldes.....	77
Desarrollo y análisis de los prototipos.....	80

Prototipo 1 – Bolso para mercar81

Prototipo 2 – Bolso de mano83

Prototipo 3 – Bolso de manos libres.....84

Fichas Técnicas de los Prototipos87

Conclusiones90

Bibliografía.....92

Lista de Tablas

Tabla 1. <i>Resumen SIPOC</i>	49
Tabla 2. <i>Resumen DOFA</i>	53
Tabla 3. <i>Desperdicio de zunchos durante el periodo analizado</i>	55
Tabla 4. <i>Resumen fichas técnicas de los módulos</i>	66
Tabla 5. <i>Lista BOM</i>	72
Tabla 6. <i>Fichas técnicas de los prototipos</i>	88

Lista de Figuras

Figura 1. <i>Ciclo del zuncho dentro del sistema logístico</i>	38
Figura 2. <i>Layout de la estación modular</i>	64
Figura 3. <i>Plantilla utilizada como guía para la definición de dimensiones y organización del tejido en el prototipo 1 Frente 1.....</i>	79
Figura 4. <i>Plantilla utilizada como guía para la definición de dimensiones y organización del tejido en el prototipo 1 Frente 2.....</i>	79
Figura 5. <i>Prototipo final de canasto de mercado elaborado con zunchos plásticos reciclados...82</i>	82
Figura 6. <i>Prototipo final de bolso de mano elaborado con zunchos plásticos reciclados.....84</i>	84
Figura 7. <i>Prototipo final de boldo de manos libres elaborada con zunchos plásticos reciclados85</i>	85

Introducción

En los contextos industriales y logísticos actuales, el uso de materiales plásticos para procesos de embalaje y aseguramiento de carga es ampliamente extendido, cabe resaltar que dentro de estos materiales, los zunchos plásticos cumplen una función esencial en la sujeción de mercancías; sin embargo, una vez finalizado su uso, suelen convertirse en residuos de difícil aprovechamiento debido a su dispersión, características físicas y bajo nivel de recuperación dentro de los sistemas tradicionales de reciclaje.

La situación descrita anteriormente plantea la necesidad de explorar alternativas que permitan reincorporar este tipo de residuos dentro de nuevos ciclos productivos, en coherencia con los principios de la economía circular, de esta manera, los residuos dejan de considerarse como desechos para convertirse en insumos potenciales dentro de procesos de transformación que generen valor agregado.

En este contexto, el presente trabajo tiene como propósito diseñar y evaluar un proceso productivo orientado a la transformación de zunchos plásticos post-consumo en productos funcionales, específicamente accesorios como bolsos y otros elementos de uso cotidiano, para lo cual, se desarrolló una metodología estructurada en diferentes fases que incluyen el diagnóstico del material, el diseño del proceso, la elaboración de prototipos y la simulación del sistema productivo. Asimismo, el desarrollo de prototipos permitió analizar el comportamiento del material reciclado en condiciones reales de transformación, identificando sus limitaciones y potencialidades en términos estructurales, funcionales y de diseño.

De esta manera, el trabajo no solo aborda el aprovechamiento de un residuo plástico específico, sino que también plantea una alternativa de transformación que puede ser replicable en contextos similares, contribuyendo al desarrollo de estrategias sostenibles orientadas a la reducción de residuos y a la generación de valor a partir de materiales post-consumo.

Justificación

La creciente generación de residuos plásticos en entornos industriales y logísticos representa uno de los principales desafíos en materia de sostenibilidad y gestión ambiental, en este sentido, dentro de este panorama, los zunchos plásticos utilizados en procesos de embalaje constituyen un tipo de residuo que, a pesar de su potencial de reutilización, suele ser descartado sin un aprovechamiento adecuado, contribuyendo al incremento de la carga de residuos sólidos.

La importancia de este proyecto radica en la necesidad de proponer alternativas que permitan transformar este tipo de residuos en recursos útiles, alineándose con los principios de la economía circular y promoviendo prácticas de aprovechamiento que reduzcan la presión sobre los sistemas de disposición final, por lo tanto, el desarrollo de un proceso productivo para la transformación de zunchos plásticos en productos funcionales representa una oportunidad para generar valor a partir de materiales que tradicionalmente no son reutilizados.

Desde el punto de vista técnico, el proyecto permite analizar el comportamiento de un material reciclado en procesos de transformación manual, identificando variables como su rigidez, maleabilidad y capacidad estructural, lo cual resulta relevante para determinar la viabilidad de su uso en la fabricación de productos, así como para establecer metodologías de trabajo que permitan optimizar su manipulación. Asimismo, el desarrollo de prototipos constituye una herramienta fundamental para validar, en un entorno controlado, la funcionalidad y el desempeño de los productos elaborados, permitiendo identificar oportunidades de mejora tanto en el diseño como en el proceso de fabricación.

Desde una perspectiva académica, el trabajo contribuye a la aplicación de conceptos propios de la ingeniería industrial, tales como el diseño de procesos, la evaluación de sistemas productivos y el análisis de operaciones, integrándolos en un contexto de sostenibilidad y aprovechamiento de residuos. Finalmente, desde el punto de vista práctico, el proyecto propone

un modelo que puede ser replicado o adaptado en iniciativas de pequeña escala, emprendimientos o programas de responsabilidad ambiental, ampliando las posibilidades de uso de materiales reciclados en la generación de productos con valor agregado.

Objetivos

Objetivo General

Diseñar y evaluar un proceso productivo para la transformación de zunchos plásticos post-consumo en productos funcionales, mediante el desarrollo de prototipos y la simulación del sistema productivo, con el fin de analizar su viabilidad técnica, económica y ambiental bajo un enfoque de economía circular.

Objetivos Específicos

Diagnosticar las condiciones de generación, características y potencial de aprovechamiento de los zunchos plásticos post-consumo.

Diseñar el proceso productivo para la transformación del material, incluyendo sus etapas operativas.

Desarrollar prototipos de productos, tomando como línea principal bolsos y productos alternativos.

Evaluar el desempeño del proceso productivo mediante indicadores operativos como tiempos de fabricación y aprovechamiento del material.

Documentar la metodología y proponer un modelo replicable de aprovechamiento de zunchos plásticos.

Marco Conceptual

La claridad conceptual es un requisito indispensable para garantizar que los procesos logísticos y ambientales se comprendan, ejecuten y evalúen de manera uniforme, por lo que, en este contexto, la definición precisa de los términos no debe verse como un simple formalismo, sino como una herramienta que fortalece la coherencia técnica y facilita la aplicación práctica del proyecto. En este sentido, el manejo del zunchos plástico post-consumo implica el uso de conceptos propios de la cadena de suministro, la economía circular, la logística inversa y los sistemas de mejora continua, los cuales orientan la construcción de un modelo de gestión alineado con la sostenibilidad y la eficiencia operativa. Por lo tanto, a continuación, se presentan las definiciones clave que enmarcan este estudio y sirven como base para el desarrollo de la metodología propuesta

Logística: Conjunto de actividades orientadas a planificar, implementar y controlar de manera eficiente y sostenible el flujo de bienes, servicios e información desde el punto de origen hasta el punto de consumo, garantizando el cumplimiento de los requerimientos del cliente y la optimización de los recursos (Council of Supply Chain Management Professionals [CSCMP], 2023). En el contexto industrial, la logística comprende el embalaje, transporte, almacenamiento, distribución y disposición final de materiales, como los zunchos plásticos utilizados en procesos de aseguramiento de carga.

Cadena de Suministro: La cadena de suministro es una red integrada de organizaciones, personas, actividades, información y recursos que intervienen en el flujo de productos, servicios y datos desde el punto de origen hasta el cliente final, incluyendo las etapas de retorno o valorización de materiales (CSCMP, 2023). Su gestión eficiente permite reducir desperdicios, optimizar recursos y generar valor añadido en todas las fases del ciclo logístico, incluyendo la postconsumo y la recuperación de materiales como los zunchos plásticos.

Layout logístico: Disposición física estratégica de las áreas de trabajo, almacenamiento y circulación dentro de un entorno industrial, con el propósito de optimizar los flujos de materiales y minimizar desperdicios, tiempos improductivos y riesgos operativos (Richards, 2021). Un diseño adecuado del layout contribuye a mejorar la eficiencia, reducir movimientos innecesarios y prevenir acumulación de residuos o cuellos de botella logísticos.

Logística Inversa: Proceso que involucra la planificación, implementación y control eficiente del flujo de productos, materiales o información desde el punto de consumo hasta el punto de origen o valorización, con el objetivo de recuperar valor, reutilizar, reciclar o disponer responsablemente los materiales (Kumar & Chandrakar, 2022). Aplicada a los zunchos plásticos, permite establecer circuitos de recolección y retorno que faciliten su reincorporación al ciclo productivo o su canalización hacia procesos de reciclaje.

Economía Circular: Modelo de desarrollo sostenible que busca mantener el valor de los productos, materiales y recursos en el ciclo económico durante el mayor tiempo posible, reduciendo la generación de residuos mediante estrategias de reutilización, reciclaje y regeneración (Ellen MacArthur Foundation, 2019). Aplicada a la logística industrial, promueve la reincorporación de los zunchos plásticos al proceso productivo como insumo valorizable en lugar de desecharlos.

Ciclo de Vida del Producto (ACV): Metodología estandarizada internacionalmente que permite evaluar los impactos ambientales asociados a todas las etapas del ciclo de vida de un producto, desde la extracción de materias primas hasta su disposición final (ISO 14040:2020). El análisis del ciclo de vida es una herramienta esencial para identificar puntos críticos donde intervenir con estrategias de sostenibilidad, como la recuperación o valorización de los zunchos plásticos.

Gestión Ambiental: Conjunto de políticas, prácticas y acciones que permiten a una organización minimizar su impacto sobre el entorno natural y cumplir con la normativa ambiental vigente. En entornos industriales, incluye la gestión de residuos, consumo energético y emisiones (ISO, 2015).

ISO 14001:2015: Norma internacional que establece requisitos para implementar un Sistema de Gestión Ambiental (SGA) en organizaciones. Su aplicación ayuda a identificar, controlar y reducir impactos ambientales de actividades como el transporte y disposición de residuos industriales.

Ley 2232 de 2022: Normativa colombiana que regula la producción y uso de plásticos de un solo uso, promoviendo su sustitución, reutilización o eliminación progresiva. Los zunchos plásticos, aunque no siempre están explícitamente listados, deben ser tratados bajo sus principios rectores (Minambiente, 2022).

Pasivo Ambiental: Consecuencia negativa acumulada en el ambiente derivada de la operación industrial, cuya mitigación o compensación requiere recursos futuros. La acumulación no controlada de zunchos representa un pasivo de este tipo.

Residuos Sólidos Industriales (RSI): Materiales generados en los procesos productivos que no tienen un uso inmediato y son descartados. Incluyen empaques, recortes, zunchos, entre otros. Su correcta clasificación y valorización es parte integral del desempeño industrial (UNEP, 2020).

Valorización de Residuos: Proceso mediante el cual los residuos adquieren valor económico, energético o material a través de su reutilización, reciclaje o transformación. En el caso de los zunchos, puede realizarse mediante acopio, limpieza y venta a recicladores.

Residuos Aprovechables: Materiales que, pese a haber sido descartados, conservan características que les permiten ser reutilizados o reciclados. En la práctica, muchos zunchos post-consumo son desechados sin siquiera evaluar su condición física.

Microplásticos: Fragmentos de plástico menores a 5 milímetros, originados por la degradación de materiales plásticos mayores o por el uso directo de partículas primarias, estos contaminantes son persistentes y de difícil eliminación, representando una amenaza significativa para los ecosistemas acuáticos y terrestres (UNEP, 2021). En el caso de los zunchos plásticos, su fragmentación durante la disposición inadecuada contribuye a la formación de microplásticos, afectando suelos y cuerpos hídricos.

Mejora Continua (Kaizen): Filosofía de gestión que promueve la optimización progresiva de los procesos mediante la participación activa del personal y la realización de pequeños cambios incrementales que generen mejoras sostenibles en el tiempo (Liker & Franz, 2021). En el ámbito logístico, el enfoque Kaizen permite rediseñar procesos de manejo de materiales para incluir prácticas de recuperación y aprovechamiento de residuos.

Ciclo PHVA (PDCA): Metodología de mejora continua que orienta el diseño, ejecución y seguimiento de procesos organizacionales, asegurando la eficacia y sostenibilidad de las acciones implementadas (ISO 9001:2015; ISO 14001:2018). En el contexto logístico, su aplicación permite estructurar y evaluar de forma sistemática los procedimientos para la recuperación y valorización de los zunchos plásticos.

Costos Ocultos: Son aquellos costos indirectos o no visibles en los registros contables tradicionales que afectan la rentabilidad operativa de la empresa, tales como pérdidas de materiales, reprocesos, tiempos improductivos o uso ineficiente del espacio (Harrington & Voehl, 2022). En el contexto de los zunchos plásticos, estos costos se manifiestan en el desperdicio de insumos, sobrecostos en disposición y pérdida de oportunidades de valorización.

Sostenibilidad Empresarial: Capacidad de una organización para generar valor económico y social a largo plazo, operando de manera responsable con el medio ambiente y los recursos naturales (World Economic Forum, 2023). Implica integrar prácticas de eficiencia operativa, innovación y compromiso ambiental dentro de la estrategia corporativa, garantizando equilibrio entre rentabilidad, bienestar social y protección del entorno.

Reputación Ambiental: Percepción que tienen los grupos de interés (clientes, comunidad, autoridades) sobre el comportamiento ambiental de una organización. Una mala gestión de residuos puede traducirse en pérdida de confianza, licencias o acceso a mercados verdes.

Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS): Agenda global adoptada por Naciones Unidas que incluye metas para la producción y consumo responsable (ODS 12) y acción por el clima (ODS 13). El reaprovechamiento del zuncho plástico contribuye directamente a ambos objetivos (ONU, 2015).

Marco Teórico

La comprensión técnica de los procesos logísticos exige un soporte teórico que permita interpretar las dinámicas, interacciones y retos presentes en la operación industrial, por lo que, en este contexto, la teoría no constituye un elemento abstracto, sino un fundamento esencial para orientar la toma de decisiones y el diseño de soluciones aplicadas. Por lo tanto, el estudio del desperdicio de zunchos plásticos, como residuo derivado de actividades logísticas, requiere apoyarse en enfoques consolidados que expliquen la gestión de materiales, la eficiencia de los flujos operativos y los modelos de aprovechamiento. En este sentido, a continuación se presentan los principales aportes teóricos que sustentan este proyecto aplicado y permiten estructurar una propuesta coherente con las demandas actuales de la logística industrial:

La logística y la cadena de suministro en la industria

Importancia de la logística industrial en la eficiencia operativa

La logística industrial constituye un pilar fundamental para el adecuado funcionamiento de las organizaciones, al permitir la planificación, ejecución y control eficiente de los flujos de bienes, servicios e información desde el punto de origen hasta el consumidor final, esta función transversal tiene un impacto directo en la eficiencia, productividad y sostenibilidad de los sistemas productivos (Ballou, 2004). Su alcance se extiende desde el abastecimiento de insumos hasta la entrega del producto final, integrando procesos como almacenamiento, embalaje, transporte, gestión de inventarios y disposición de residuos.

Desde una visión sistémica, una operación logística bien estructurada permite reducir tiempos de ciclo, eliminar desperdicios, optimizar espacios físicos y aumentar la trazabilidad de materiales. En este sentido, la Ingeniería Industrial se convierte en una disciplina clave para diagnosticar los flujos internos y externos de materiales, implementar herramientas de mejora

continua y rediseñar layouts que favorezcan el movimiento eficiente de recursos (Tompkins et al., 2010).

Estructura e interdependencia en la cadena de suministro

La cadena de suministro es una red interrelacionada de actores y procesos que trabajan en conjunto para transformar materias primas en productos terminados, y entregarlos al cliente en condiciones óptimas de tiempo, calidad y costo, esta red no es lineal, sino que comprende múltiples flujos bidireccionales de materiales, información y valor (Christopher, 2016).

En un entorno competitivo y regulado, la gestión de la cadena de suministro requiere la integración de enfoques que permitan balancear la eficiencia operativa con el desempeño ambiental y social, es así que, cobra especial relevancia la incorporación de la logística inversa, es decir, el retorno de materiales post-consumo como parte integral del flujo logístico. En este sentido, elementos tradicionalmente marginados del análisis logístico —como los zunchos plásticos post-uso— deben ser considerados no solo como residuos, sino como insumos potenciales para la economía circular (Rogers & Tibben-Lembke, 1998).

Logística convencional versus logística sostenible

Tradicionalmente, la logística se enfocaba en lograr objetivos de productividad mediante la reducción de costos y tiempos, no obstante, el contexto actual exige que esta disciplina evolucione hacia un enfoque más amplio: la logística sostenible, la cual incorpora criterios ambientales, económicos y sociales (Sarkis, 2012). Este nuevo paradigma no solo busca transportar materiales eficientemente, sino hacerlo de manera responsable, minimizando el impacto ambiental generado por el consumo de recursos y la generación de residuos.

La logística sostenible amplía su campo de acción al considerar el ciclo de vida completo de los materiales utilizados por la empresa y al promover el uso eficiente de los recursos mediante la reducción, reutilización y reciclaje. Bajo este paradigma, los materiales auxiliares

como los zunchos plásticos no pueden considerarse desechos de un solo uso, sino insumos que deben gestionarse de manera responsable mediante estrategias de recuperación y valorización.

Este enfoque es especialmente relevante para empresas industriales y logísticas que generan grandes volúmenes de zuncho plástico, ya que permite alinear sus prácticas con las políticas de sostenibilidad corporativa, las exigencias regulatorias y los objetivos globales de economía circular.

Logística interna: flujos de materiales y aprovechamiento de residuos

Un componente crítico —pero a menudo subestimado— de la logística industrial es la logística interna, que gestiona los movimientos de materiales dentro de la empresa, desde la recepción hasta el despacho. La manera en que estos flujos son diseñados influye directamente en la eficiencia global del sistema productivo, ya que cuando materiales como los zunchos plásticos no están contemplados en el flujo de materiales, se generan cuellos de botella, desorganización y acumulación de residuos sin trazabilidad. Desde la Ingeniería Industrial, este problema puede abordarse a través de metodologías como:

- Diseño de layouts eficientes, que incorporen estaciones de acopio y recuperación de materiales valorizables.
- Estandarización de procedimientos operativos, incluyendo formatos para la identificación, recolección y clasificación del zuncho.
- Implementación de indicadores clave de desempeño (KPI) relacionados con la gestión de residuos y la eficiencia del flujo interno.
- Análisis de costos ocultos, especialmente aquellos relacionados con espacio desaprovechado, retrabajo y tiempo improductivo (Niebel & Freivalds, 2003).

Gestión de residuos sólidos industriales: enfoque estratégico

Los residuos sólidos industriales (RSI) son todos aquellos materiales resultantes de actividades de transformación, manufactura, embalaje, transporte o mantenimiento en contextos productivos, que han perdido su funcionalidad directa en el proceso y, por tanto, requieren una disposición, tratamiento o valorización adecuada (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MinAmbiente], 2022), en este grupo se incluyen elementos como empaques, recortes de materia prima, envases, residuos de mantenimiento y materiales de embalaje, entre ellos, los zunchos plásticos post-consumo.

Desde la Ingeniería Industrial, los RSI no deben interpretarse únicamente como desechos, sino como flujos residuales dentro del sistema logístico y productivo, cuya adecuada gestión influye directamente en la eficiencia operativa, los costos ocultos, el cumplimiento normativo y el desempeño ambiental de la organización (Niebel & Freivalds, 2003). Por lo tanto, el análisis, clasificación, trazabilidad y valorización de estos residuos son tareas fundamentales para mantener la coherencia de los procesos con los principios de mejora continua y sostenibilidad.

Zunchos plásticos: propiedades, usos y retos post-consumo

Caracterización técnica del zuncho plástico

El zuncho plástico es un insumo ampliamente utilizado en procesos industriales y logísticos, cuya función principal es el aseguramiento de la carga mediante sujeción perimetral a productos, cajas, estibas o bultos durante su almacenamiento, transporte o distribución. Se fabrica principalmente a partir de polipropileno (PP) o tereftalato de polietileno (PET), dos polímeros de alto rendimiento que destacan por su resistencia a la tracción, bajo peso, flexibilidad, y tolerancia

térmica y química (Tompkins et al., 2010), entre las propiedades físico-mecánicas más valoradas del zuncho plástico se encuentran:

- Alta resistencia específica (relación resistencia/peso), ideal para contener productos pesados sin añadir carga adicional.
- Elasticidad controlada, que permite absorber vibraciones o desplazamientos durante el transporte.
- Compatibilidad con herramientas mecánicas o automáticas, lo que facilita su integración en líneas de embalaje automatizadas.

Además, es un material con bajo costo de producción, lo cual lo hace muy atractivo para empresas con altos volúmenes de distribución, consolidando su uso en sectores como el agroindustrial, farmacéutico, alimentario, manufacturero, metalmecánico, entre otros (Ballou, 2004).

Función logística y uso operativo

En el contexto logístico, los zunchos se consideran elementos auxiliares, es decir, insumos que no forman parte del producto final, pero que son críticos para garantizar su integridad durante las etapas de manipulación y transporte, en este sentido, cumplen una función similar a la del stretch film, fleje metálico o bandas de seguridad, pero con ventajas adicionales como mayor ergonomía para el operario, reducción del riesgo de cortes o accidentes, facilidad de almacenamiento y transporte y alta adaptabilidad a cargas de diversas formas y dimensiones. No obstante, a pesar de estas cualidades, los zunchos plásticos son tratados usualmente como material de un solo uso, sin protocolos de recuperación ni evaluación de su condición posterior al uso, esta práctica, ampliamente extendida, refleja una falla sistémica en la gestión del ciclo de vida de los materiales logísticos.

Zuncho post-consumo: de recurso logístico a residuo no valorizado

Una vez removido, el zuncho suele ser desechado sin clasificación, almacenado de forma improvisada, arrojado en contenedores generales o incluso incinerado sin control, lo cual genera múltiples implicaciones negativas como:

- Pérdida económica, al no recuperar un material que, en muchas ocasiones, conserva propiedades para su reutilización o reciclaje.
- Generación de pasivos ambientales invisibles, al tratarse de un polímero no biodegradable que puede fragmentarse en microplásticos (Ellen MacArthur Foundation, 2016).
- Ocupación de espacio físico útil, al acumularse en pasillos, zonas de carga o patios operativos.
- Incremento del riesgo operativo, especialmente si se encuentra desordenado o enredado en zonas de tránsito.

Desde la perspectiva de la ingeniería industrial, este comportamiento representa una fuente de ineficiencia logística y un desperdicio tipo “muda” bajo el enfoque Lean (Womack & Jones, 1996), a su vez, puede considerarse un flujo oculto de pérdida de valor, pues la empresa ha invertido en la adquisición, almacenamiento y utilización de un insumo que no se gestiona de forma técnica al finalizar su uso.

Potencial de valorización del zuncho plástico

A pesar de que su uso se limita comúnmente a una sola operación, numerosos estudios y experiencias industriales demuestran que el zuncho plástico posee un alto potencial de valorización, tanto en términos de reutilización directa como de reciclaje mecánico o químico:

- Reutilización interna en entregas secundarias, procesos internos, transporte intraplanta o aseguramiento de materiales no sensibles.
- Reutilización externa en convenios con proveedores, clientes u operadores logísticos que acepten retornos del insumo.
- Reciclaje mediante la clasificación por tipo de polímero, limpieza y reprocesamiento para generación de pellets reutilizables.

De acuerdo con cifras de la Asociación Nacional de Recicladores de Colombia (ANR), el PET y el PP reciclado pueden alcanzar precios entre \$300 y \$800 COP por kilogramo, dependiendo de su calidad, lo que convierte al zuncho en un activo potencialmente monetizable si se gestiona adecuadamente (MinAmbiente, 2022).

Logística inversa y economía circular: modelos de valorización

Introducción: nuevos paradigmas logísticos

La globalización de los mercados, el crecimiento de la producción industrial y el agotamiento de los recursos naturales han generado una presión creciente sobre los modelos tradicionales de producción y consumo. En este contexto, la logística inversa y la economía circular emergen como enfoques estratégicos que permiten cerrar el ciclo de vida de los materiales, reduciendo la generación de residuos y fomentando el reaprovechamiento de recursos (Rogers & Tibben-Lembke, 1998; Ellen MacArthur Foundation, 2013).

Desde la perspectiva de la Ingeniería Industrial, estos conceptos permiten rediseñar los sistemas logísticos para incluir el retorno, clasificación y valorización de insumos post-consumo, como los zunchos plásticos, integrando eficiencia operativa, sostenibilidad ambiental y rentabilidad.

Logística inversa: definición, procesos y beneficios

La logística inversa se define como el conjunto de procesos relacionados con la planificación, implementación y control eficiente del flujo de materiales desde el punto de consumo hasta el punto de origen, con el propósito de recuperar valor o realizar una disposición ambientalmente adecuada (Rogers & Tibben-Lembke, 1998), sus objetivos incluyen recuperar productos y materiales valorizables, generar ingresos a través del reciclaje o reutilización, reducir el impacto ambiental de los residuos y cumplir con normativas ambientales o compromisos corporativos. Cabe resaltar que el proceso de logística inversa típicamente incluye:

- Recolección del material post-consumo (como zunchos plásticos) en puntos específicos del proceso.
- Clasificación y segregación, según el tipo de polímero, estado físico o posibilidad de reaprovechamiento.
- Consolidación y transporte hacia estaciones de reciclaje, reutilización o disposición final.
- Seguimiento e indicadores, que permiten medir la eficiencia del proceso y su rentabilidad.

Economía circular: principios y aplicación industrial

La economía circular es un modelo de producción y consumo que busca mantener el valor de los productos, materiales y recursos durante el mayor tiempo posible, reduciendo al mínimo la generación de residuos (Ellen MacArthur Foundation, 2013). A diferencia del modelo lineal tradicional (extraer, producir, usar y desechar), la economía circular se basa en:

- Diseñar sin residuos desde la concepción del producto.
- Mantener productos y materiales en uso mediante reparación, reacondicionamiento, reutilización o reciclaje.
- Regenerar los sistemas naturales mediante la disminución de impactos negativos.

En entornos industriales, su implementación requiere diagnóstico del ciclo de vida de los insumos, rediseño de procesos y aplicación de tecnologías que faciliten la circularidad de materiales, por lo tanto, el zuncho plástico post-consumo es un caso claro de flujo que puede reinsertarse al sistema mediante mecanismos de recolección, reacondicionamiento o reciclaje, contribuyendo así a la reducción de residuos sólidos industriales, la disminución del consumo de materias primas vírgenes, la optimización del layout al reducir acumulación de desperdicios y la generación de valor económico a partir de materiales recuperados.

Marco Legal

La sostenibilidad empresarial ya no es una opción, sino una obligación técnica, ética y legal, por lo que, en este contexto, el cumplimiento normativo no debe entenderse como una barrera, sino como un marco de referencia que permite alinear los procesos industriales con los principios de protección ambiental, eficiencia operativa y responsabilidad social. El caso particular de los residuos plásticos de uso logístico, como los zunchos post-consumo, representa una oportunidad para rediseñar procesos bajo un enfoque regulado, trazable y medible, por lo tanto, a continuación se describe el marco legal vigente que rige la gestión de residuos valorizables, tanto a nivel internacional como nacional y local, asimismo se resalta que desde la Ingeniería Industrial, el análisis legal se convierte en una herramienta para estructurar soluciones operativas, diseñar indicadores de desempeño ambiental, y tomar decisiones alineadas con el cumplimiento normativo.

Marco normativo internacional

La legislación ambiental internacional representa el conjunto de estándares, principios y marcos de referencia que orientan el accionar de los sistemas productivos en un contexto global, sin embargo, aunque no son de aplicación obligatoria como las leyes nacionales, estas normas constituyen una guía para adoptar buenas prácticas ambientales que permiten a las organizaciones posicionarse en mercados exigentes, acceder a certificaciones, y anticipar regulaciones futuras.

ISO 14001:2015 (Sistema de Gestión Ambiental): Esta norma establece los requisitos para diseñar e implementar un Sistema de Gestión Ambiental (SGA) que permita identificar, controlar y mejorar el desempeño ambiental de una organización, promoviendo:

- La gestión de aspectos ambientales significativos (como los residuos plásticos no valorizados).

- La adopción del enfoque de ciclo de vida.
- La mejora continua y el cumplimiento legal como principios de gestión.
- El uso de indicadores de desempeño ambiental.

Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS): Los ODS, adoptados por la ONU en 2015, constituyen un marco de referencia global para la sostenibilidad, ya que cuenta con objetivos que promueven la minimización de residuos y la adopción de prácticas industriales sostenibles, así como principios que se cumplen mediante la recuperación, clasificación y valorización de los diferentes residuos.

Marco normativo nacional (Colombia)

El marco legal colombiano ha avanzado hacia una estructura jurídica coherente con los principios de desarrollo sostenible, incluyendo leyes, decretos y resoluciones que regulan la producción, uso y disposición de residuos. Por lo tanto, es fundamental considerar aquellas normas que rigen la gestión de residuos sólidos industriales no peligrosos, en especial los derivados de plásticos de uso logístico como los zunchos.

Ley 2232 de 2022 (Prohibición de plásticos de un solo uso). Esta ley establece la prohibición progresiva del uso de plásticos de un solo uso en Colombia, sin embargo, aunque los zunchos plásticos no están explícitamente prohibidos, por su bajo nivel de reutilización y reciclabilidad efectiva, quedan bajo vigilancia normativa. La ley promueve:

- La sustitución por materiales sostenibles.
- La responsabilidad extendida del productor.
- La adopción de procesos de logística inversa.

Resolución 1407 de 2018 (Gestión de envases y empaques). Esta resolución fue emitida por el Ministerio de Ambiente, la cual regula la gestión de residuos de envases y empaques, incluyendo plásticos como el PET y el PP (materiales comunes en los zunchos), y exige:

- La formulación de Planes de Gestión Ambiental Empresarial.
- El cumplimiento de metas anuales de recuperación y reciclaje.
- La trazabilidad del flujo de residuos y el reporte de su aprovechamiento.

Decreto 1076 de 2015 (Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente). Este decreto compila la normatividad ambiental vigente, por lo cual establece que:

- Los residuos deben ser gestionados bajo el principio de jerarquía (reducir, reutilizar, reciclar, disponer).
- Toda empresa generadora debe demostrar trazabilidad de residuos.
- Las acciones de mitigación deben ser medibles y documentadas.

Además, este decreto habilita la aplicación de procedimientos internos de control, capacitación al personal, y seguimiento mediante indicadores, todo lo cual está previsto en el diseño del proyecto.

Implicaciones legales

La normativa ambiental vigente, tanto internacional como nacional y local, establece un marco claro de actuación para las organizaciones que generan residuos valorizables, como es el caso de los zunchos plásticos post-consumo. En este contexto, el proyecto propuesto se sitúa en un punto de intersección entre la operación logística, la gestión ambiental y el cumplimiento regulatorio.

Desde una perspectiva jurídica, la acumulación, mala disposición o falta de trazabilidad de este tipo de residuos constituye una posible infracción ambiental, especialmente frente a

disposiciones como la Ley 2232 de 2022, que establece la responsabilidad del generador, y la Resolución 1407 de 2018, que exige el diseño de planes de manejo específicos para residuos de envases y empaques, por lo que, en caso de incumplimiento, la empresa podría enfrentar consecuencias como:

- Sanciones administrativas por parte de la autoridad ambiental (multas de hasta 50 SMMLV).
- Cierre parcial o total de operaciones (temporal o definitivo).
- Suspensión de licencias ambientales o registros como operador.
- Exclusión de licitaciones públicas o contratos con clientes que exijan cumplimiento ambiental.

Por otro lado, el cumplimiento adecuado del marco legal no solo evita estos riesgos, sino que actúa como un diferenciador competitivo y un catalizador para la mejora continua, puesto que las empresas que integran sistemas de gestión ambiental basados en ISO 14001 y en normativas como las establecidas por el PGIRS local, no solo reducen sus pasivos ambientales, sino que:

- Mejoran su posicionamiento ante clientes, entes reguladores y la comunidad.
- Aumentan sus posibilidades de certificación ambiental o de sostenibilidad.
- Acceden a beneficios fiscales y financieros, como líneas verdes de crédito.
- Disminuyen costos operativos ocultos mediante valorización de residuos y eficiencia logística.

Finalmente, se puede inferir que la normatividad obliga a las organizaciones a migrar de un enfoque correctivo a uno preventivo y proactivo, lo cual encaja plenamente con los principios de la mejora continua y del pensamiento sistémico de la Ingeniería Industrial, en este sentido, este

proyecto no solo responde al cumplimiento de la ley, sino que propone una estrategia replicable, escalable y alineada con el desarrollo sostenible.

Antecedentes

La valorización de residuos plásticos industriales es un campo que ha evolucionado rápidamente en América Latina durante la última década, impulsado por la necesidad de reducir los impactos ambientales asociados a los residuos post-consumo y por la búsqueda de modelos productivos circulares. En este contexto, el zuncho plástico, utilizado ampliamente en sectores como el bananero, portuario, logístico y comercial, se ha convertido en un residuo con alto potencial de aprovechamiento debido a su resistencia mecánica, durabilidad y composición basada en polipropileno o poliéster. Por lo tanto, diferentes iniciativas, tanto académicas como comunitarias e industriales, han demostrado que este material puede reincorporarse en cadenas productivas a través de procesos manuales, semi-industriales e industriales, generando productos con valor agregado y promoviendo impactos económicos y sociales significativos.

Las experiencias desarrolladas en países como Colombia, Ecuador, Guatemala y México evidencian que el zuncho post-consumo puede transformarse en artesanías funcionales, como bolsos, canastos y accesorios, mediante técnicas de tejido y trenzado, las cuales, en su mayoría lideradas por comunidades o emprendimientos locales, han demostrado ser una alternativa viable para la generación de ingresos, la inclusión social y la reducción del volumen de residuos enviados a rellenos sanitarios. Paralelamente, estudios técnicos y proyectos de carácter industrial han explorado el aprovechamiento del zuncho como materia prima para procesos de reciclaje mecánico, en los que el material es lavado, triturado y reincorporado en la fabricación de nuevos productos plásticos mediante inyección o extrusión. En este sentido, estas experiencias constituyen referentes importantes para el diseño de sistemas integrados de recuperación y transformación del zuncho.

La transformación de zunchos plásticos post-consumo ha sido abordada en diferentes regiones del mundo mediante procesos artesanales, semi-industriales e industriales que buscan

disminuir la contaminación, generar valor agregado y promover modelos de economía circular, por lo tanto, estas experiencias previas constituyen un insumo fundamental para el diseño de una estación modular y un proceso productivo en el Magdalena, ya que permiten identificar tecnologías apropiadas, modelos organizacionales y líneas de producto con potencial de mercado. A continuación, se presentan cinco referentes que aportan conocimiento práctico y adaptable al contexto local.

Artesanías con zuncho plástico en Antioquia y Valle del Cauca (Colombia)

En diversos municipios de estas regiones, grupos de mujeres recicladoras han desarrollado técnicas de tejido y trenzado para convertir el zuncho plástico PP en bolsos, canastos, carteras y otros objetos utilitarios, este proceso incluye la recolección del zuncho en bodegas y centros logísticos, seguido de un lavado manual, corte y tejido, sin necesidad de maquinaria compleja.

Cabe resaltar que, los resultados han sido significativos en términos de generación de ingresos locales, reducción de residuos y posicionamiento de productos en mercados artesanales y ferias de diseño, lo cual demuestra la viabilidad técnica y social de la valorización artesanal del zuncho.

Emprendimientos centroamericanos de bolsos con zuncho reciclado (Guatemala y El Salvador)

En estos países existen iniciativas comunitarias que recolectan zuncho proveniente de actividades agrícolas como la producción de café y hortalizas, por lo tanto, el material es seleccionado, limpiado y tejido mediante técnicas tradicionales para crear bolsos, canastas y accesorios que, en muchos casos, se comercializan en mercados de comercio justo e incluso se exportan. En este sentido, los resultados evidencian una alta aceptación comercial por su valor artesanal y su narrativa ambiental, con productos que combinan identidad cultural, sostenibilidad y diseño.

Reciclaje mecánico de zuncho PP en Bogotá y Cali

En ciudades como Bogotá y Cali, empresas recicladoras han incorporado el zuncho dentro de sus líneas de reciclaje mecánico, lo cual consiste en lavar, triturar y granular el material para convertirlo nuevamente en materia prima, que luego es combinada con polipropileno virgen para producir objetos inyectados como materas, tapas, cajas y estibas. Lo anterior, confirma la capacidad del zuncho para reintegrarse a cadenas industriales y su utilidad como insumo en procesos productivos de mayor volumen.

Sistemas de logística inversa para zuncho plástico en Europa

Varias empresas europeas han implementado sistemas de logística inversa para recolectar y clasificar los zunchos utilizados en la industria del embalaje, los cuales incluyen la segregación del material en centros de distribución, su compactación y retorno a plantas de reciclaje o reutilización.

Cabe resaltar que, gracias a estos modelos, se ha logrado reducir significativamente la cantidad de residuos plásticos asociados al transporte y se han establecido cadenas certificadas de economía circular, demostrando que la gestión organizada del zuncho permite incrementar las tasas de recuperación.

Proyectos de mobiliario y decoración con zuncho en México

En México, diversos artesanos y microempresas han desarrollado mobiliario y artículos decorativos utilizando zuncho PET y PP reciclado. Mediante técnicas de tejido multicolor elaboran sillas, respaldos, esteras, portamacetas y otros productos resistentes y estéticamente atractivos. Cabe resaltar, que estas iniciativas han ganado presencia en mercados de diseño, turismo y decoración, destacándose por la durabilidad del material y la creatividad en el uso del zuncho como alternativa al plástico tradicional o a fibras sintéticas.

Teniendo en cuenta las experiencias revisadas, se puede inferir que estas evidencian que la transformación de zuncho plástico post-consumo es una práctica viable, sostenible y con alto potencial económico. Por lo tanto, en el contexto del Magdalena, donde existe una abundante generación de este residuo por la actividad bananera y logística, estas referencias permiten justificar la implementación de una estación modular que integre procesos artesanales e industriales.

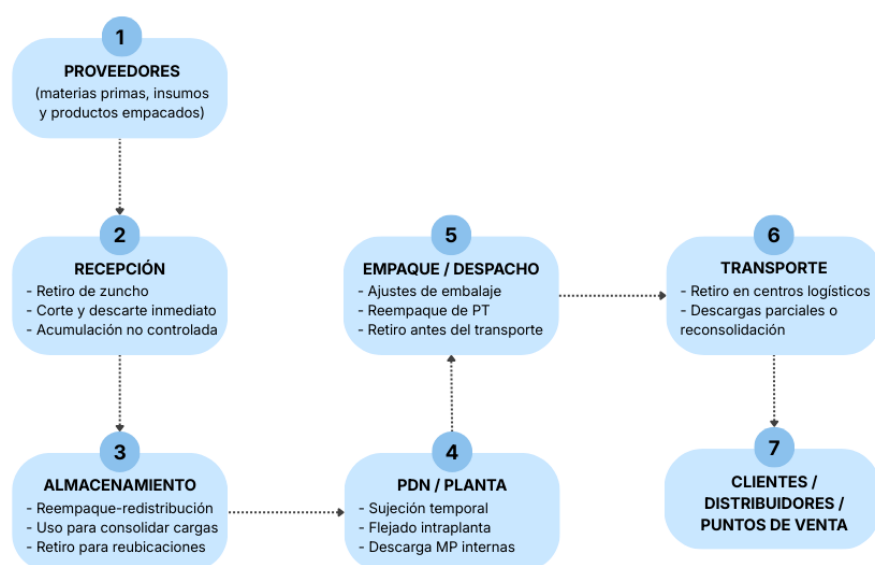
En conjunto, estas experiencias permiten construir una base sólida de conocimiento sobre el aprovechamiento del zuncho plástico post-consumo, demostrando que su transformación es técnica y económicamente viable en distintos contextos, ya que los modelos artesanales muestran el potencial del tejido como técnica accesible para generar valor agregado; los desarrollos industriales confirman la posibilidad de reincorporar el material en flujos productivos a mayor escala; los sistemas de logística inversa evidencian la importancia de organizar el retorno del residuo para asegurar su aprovechamiento; y las iniciativas de diseño y mobiliario amplían el espectro de aplicaciones posibles. De esta manera, las experiencias previas ofrecen un panorama integral de prácticas, procesos y aprendizajes que fortalecen el entendimiento del zuncho plástico como un recurso circular con múltiples oportunidades de valorización.

Análisis e Identificación de Puntos Críticos en la Cadena De Suministro

A lo largo de la cadena de suministro industrial, el zuncho plástico participa en múltiples actividades de sujeción, embalaje y consolidación de mercancías. Sin embargo, su vida útil es extremadamente corta y su gestión post-consumo suele ser informal, reactiva y fragmentada, lo cual genera desperdicios en diferentes etapas del flujo operativo. Por lo tanto, comprender el comportamiento del zuncho dentro del sistema logístico requiere analizar su ciclo completo, desde la recepción de mercancías hasta la entrega al cliente final.

Figura 1

Ciclo del zuncho dentro del sistema logístico



Teniendo en cuenta el diagrama anterior, se puede inferir que los puntos críticos corresponden a etapas del proceso logístico donde el zuncho pierde funcionalidad y se convierte en un residuo que, si no se gestiona adecuadamente, genera sobrecostos, desorden operativo e impactos ambientales. Por lo tanto, en cada uno de estos puntos se producen dinámicas específicas asociadas al tipo de operación, la intensidad de manipulación, la naturaleza de las

mercancías y la disponibilidad de procedimientos estandarizados. A continuación, se describe cada punto crítico, su causa, su impacto y cómo se relaciona con el proyecto:

Recepción de mercancías (Inbound)

La etapa de recepción constituye uno de los puntos más sensibles en el manejo del zuncho plástico, ya que en ella convergen mercancías provenientes de múltiples proveedores, cada uno con prácticas de embalaje diferentes. Por lo tanto, debido al carácter operativo y acelerado de esta actividad, el material suele ser descartado sin clasificación, lo que evidencia una oportunidad crítica de intervención.

Causas

- Retiro inmediato del zuncho para inspeccionar mercancía, lo cual ocurre cuando los operarios cortan el zuncho tan pronto la carga llega a los muelles, generando grandes cantidades de residuos en poco tiempo.
- Cortes irregulares y fragmentados al emplearse herramientas manuales, por lo que el zuncho queda en trozos de diferentes tamaños, dificultando su recolección.
- Ausencia de contenedores específicos en la zona de descarga-
- Falta de protocolos estandarizados, lo cual genera que cada operario retire y deseche el zuncho según su criterio, provocando variabilidad en los volúmenes y calidad del residuo.
- Consolidación de cargas heterogéneas por parte de los proveedores.

Impactos

- Acumulación en zonas de descarga, lo cual afecta el orden, retrasa movimientos y genera tiempos improductivos.
- Riesgos para la seguridad laboral, debido a que los trozos de zuncho pueden provocar tropiezos o enredos en transpaletas y montacargas.

- Desperdicio sin trazabilidad dado que no se registra cuánto zuncho se genera ni su potencial de recuperación.
- Aumento de costos de limpieza, ya que se requieren jornadas frecuentes de recolección manual.

Almacenamiento y operaciones internas de bodega

Las áreas de almacenamiento desempeñan un papel clave en la consolidación, redistribución y protección de materiales dentro de las instalaciones, sin embargo, la alta rotación de inventarios y los movimientos frecuentes de carga hacen que esta etapa genere volúmenes importantes de residuo plástico, muchas veces invisibles en los sistemas de control debido a que se producen de manera gradual y dispersa.

Causas

- Reempaque interno de mercancías, ya que cuando se redistribuyen unidades, se retira el zuncho original y se aplica uno nuevo.
- Consolidación de cargas para optimizar espacio.
- Movimientos frecuentes dentro de la bodega, por lo que cada reubicación de palets suele requerir quitar o ajustar el zuncho.
- Uso de zuncho como solución improvisada ante falta de otros elementos (stretch film, cantoneras).

Impactos

- Volumen significativo de residuos diarios, los cuales pueden superar incluso a los generados en la recepción.
- Obstrucción de rutas internas, debido a que trozos de zuncho quedan atrapados bajo estibas, entre racks o esparcidos por el piso.

- Reprocesos en limpieza interna.

Producción y proceso interno

Dentro del proceso productivo, el zuncho plástico se emplea para asegurar semielaborados, estabilizar unidades temporales de transporte interno y garantizar la integridad de materias primas o componentes.

Causas

- Flejado de semielaborados de gran tamaño.
- Aseguramiento para procesos de inspección o control de calidad con el fin de clasificar o separar lotes.
- Movimiento entre estaciones o áreas productivas, dentro del cual el material es flejado para evitar daños en el trayecto.
- Retiro de zuncho contaminado, debido a que cuando está en contacto con ambientes grasos, polvorientos o húmedos.

Impactos

- Generación constante pero invisible de residuos, los cuales no suelen registrarse porque aparece disperso a lo largo de la planta.
- Contaminación del material con aceites, polvo o residuos.
- Impacto directo en la calidad del producto si no se gestiona, debido a que el zuncho abandonado puede interferir con bandas, sensores o zonas críticas de producción.
- Riesgos ergonómicos, ya que los operarios manipulan el material a mano, incrementando exposición a cortes.

Empaque, embalaje y despacho (Outbound)

El área de empaque y despacho concentra actividades relacionadas con la preparación final de los productos antes de salir al mercado, por lo que, en esta fase es común realizar ajustes al embalaje, corregir no conformidades o reforzar cargas, lo que implica cortar y retirar zuncho previamente instalado.

Causas

- Ajustes de embalaje antes del despacho.
- Correcciones por no conformidades.
- Reempaque por clientes o transportistas.
- Uso excesivo para reforzar cargas frágiles

Impactos

- Incremento de desperdicio altamente fragmentado (cortes pequeños).
- Pérdida de trazabilidad del material retirado.
- Contaminación del área de carga.
- Incremento de tiempos no productivos.

Transporte y centros logísticos externos

El transporte y los centros logísticos externos representan un punto crítico adicional donde se generan residuos de zuncho fuera del control directo de la empresa, por lo tanto, durante actividades como la reconsolidación de mercancías, la transferencia entre vehículos o las descargas parciales, el zuncho original es removido y descartado sin seguimiento, lo que dificulta su trazabilidad y valorización.

Causas

- Reconsolidación de cargas para rutas múltiples, por lo que se retiran zuncho en puntos intermedios.
- Manipulación por operadores externos sin protocolos unificados, debido a que cada empresa de transporte gestiona el residuo según sus propios criterios.
- Retiro de zuncho para inspecciones especialmente en exportación o zonas francas.
- Descargas parciales para lo cual se cortan solo los zunchos necesarios, generando fragmentos residuales.

Impactos

- Abandono de residuos en espacios externos, lo cual afecta la imagen de la empresa.
- Mezcla total con residuos comunes lo que imposibilita su recuperación.
- Riesgos en patios y áreas de carga, lo cual puede causar obstrucciones o daños en montacargas.
- Incremento en la huella ambiental del proceso logístico completo.

Diagnostico

El diagnóstico del proceso constituye un componente fundamental para comprender la magnitud y las causas del desperdicio de zuncho plástico generado en la operación logística de la empresa, por lo que, a partir de una revisión sistemática de las actividades asociadas a la recepción, inspección y remontado de mercancía proveniente del sector bananero, se identificó que el zuncho post-consumo se acumula como un residuo recurrente sin un manejo diferenciado, trazabilidad o aprovechamiento. A continuación, se presenta un análisis detallado de la situación actual mediante herramientas de gestión de procesos como el modelo SIPOC, la cuantificación del residuo en condiciones operativas reales y el análisis estratégico FODA, con el fin de establecer una comprensión clara y sustentada del problema, evidenciando tanto las ineficiencias logísticas como el potencial de valorización del material, para fundamentar la propuesta de implementación de un modelo de economía circular que permita transformar este residuo en una materia prima con valor agregado.

Diagrama SIPOC del proceso actual

El modelo SIPOC (Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers) es una herramienta que facilita la comprensión integral de un proceso antes de ser intervenido, permitiendo visualizar su estructura macro, identificar actores clave, reconocer entradas críticas, describir el flujo operativo central y clarificar las salidas actuales del sistema (Harrington, 1991). En el marco de proyectos de innovación, emprendimiento y transformación productiva, el SIPOC se convierte en un instrumento fundamental para diagnosticar las condiciones del proceso actual y detectar puntos de ruptura donde una solución empresarial basada en economía circular puede generar valor.

En el caso específico de los zunchos plásticos post-consumo, su flujo tradicional se inserta de manera transversal en la cadena logística, pero opera bajo un modelo estrictamente lineal: se

usa, se retira y se desecha, lo cual refleja una ausencia de mecanismos de valorización, una débil articulación entre actores y una pérdida sistemática de materia prima potencial que podría convertirse en insumo para nuevas iniciativas productivas.

Además, en este proyecto se incorpora una característica diferenciadora: el emprendimiento propuesto depende de materia prima obtenida de un sector económico concreto —el sector bananero— reconocido por ser uno de los mayores generadores de zuncho en Colombia debido al flejado de cajas para exportación. Lo anterior, hace indispensable comprender no solo el flujo interno del material, sino también la oportunidad latente para un modelo de negocio basado en recuperación, transformación y diseño de productos.

Suppliers – Proveedores. Los proveedores representan el punto de origen del material clave del proyecto: zunchos plásticos post-consumo, por lo que su correcta caracterización es estratégica, pues del tipo, cantidad y frecuencia de generación del residuo depende directamente la viabilidad técnica y económica del proyecto. En este caso, los proveedores no solo participan como actores logísticos, sino como potenciales aliados de la cadena de valor circular.

Proveedores externos: Las empresas del sector bananero, ubicadas principalmente en Urabá, Magdalena y La Guajira, utilizan zuncho plástico de alta resistencia para flejar cajas con destino a mercados internacionales. Por lo tanto, cada contenedor exportado puede generar decenas de metros de zuncho que, tras ser cortado en los centros de distribución, pierde inmediatamente su valor funcional, pero conserva su valor material, en este sentido, este sector es clave por tres razones:

- El flujo es continuo durante todo el año debido a la naturaleza agrícola del producto.
- Utilizan espesores y calidades similares, lo cual facilita su transformación.

- El zuncho representa un residuo que deben manejar, almacenar o disponer, lo que abre una oportunidad de negociación para el emprendimiento.

Proveedores internos: Incluyen áreas como compras, logística interna y almacenaje, por lo que, actualmente su función se limita a gestionar recursos para la operación, sin mecanismos de integración con la recuperación del zuncho.

En el modelo actual, estos proveedores solo se enfocan en el suministro del zuncho para su uso inmediato, sin contemplar una política de retorno, reutilización o compensación por el material desechado, por lo que no hay acuerdos de responsabilidad extendida del productor, como lo propone la OCDE (2005) en el contexto de innovación sostenible. Finalmente, en un modelo de economía circular, estos proveedores dejan de ser simples generadores de residuos para convertirse en aliados estratégicos del suministro de materia prima secundaria.

Inputs – Entradas. Las entradas del proceso incluyen todos los recursos que permiten el uso, manipulación y retiro del zuncho. No obstante, en el proceso actual existe una marcada asimetría: hay abundancia de insumos para aplicar el zuncho, pero carencia total de insumos para recuperarlo o valorizarlo, por lo tanto, para ejecutar el proceso logístico de embalaje se destaca lo siguiente:

- Zunchos plásticos (PP o PET), generalmente en rollos o bobinas.
- Herramientas de aplicación: tensores, selladoras, cortadoras.
- Mano de obra operativa: trabajadores encargados del embalaje y aseguramiento de carga.
- Pallets y unidades de carga: donde se organiza el producto para su transporte.
- Instrucciones o procedimientos operativos: que orientan cómo y dónde aplicar el zuncho.

Aunque estas entradas están bien definidas en términos funcionales, se carece de entradas orientadas a la gestión del post-uso del zuncho, ya que no existen instrucciones operativas ni

recursos designados para su retiro, clasificación o almacenamiento con fines de reutilización o reciclaje.

Process – Proceso. Este componente describe las etapas que componen el flujo operativo desde el uso hasta el descarte del zuncho plástico, por lo que el proceso actual puede sintetizarse así:

- Embalaje del producto: Aplicación del zuncho sobre cajas o productos en pallet.
- Transporte o almacenamiento temporal: Traslado del producto embalado a destino.
- Recepción y apertura: En el punto de destino, el zuncho es retirado manualmente.
- Descarte del zuncho: Generalmente se corta, desecha en bolsas de basura o se acumula sin clasificación.
- Disposición final: Traslado a punto de residuos ordinarios, incineración o recolección general por operador de aseo.

El proceso muestra un flujo lineal y terminal, sin embargo, no existen rutas de recolección diferenciadas, estaciones de recuperación ni procedimientos estandarizados para manejar este residuo, además, no se mide la cantidad generada ni se reporta su destino, lo que contradice los principios de la logística inversa, la cual plantea que los materiales post-consumo deben reingresar al sistema (Rogers & Tibben-Lembke, 1998).

Outputs – Salidas. Las salidas del proceso incluyen:

- Productos embalados y despachados.
- Zunchos desechados, los cuales son considerados como residuos operativos sin valor.

El problema radica en que estos residuos no son tratados como una salida valorizable ya que no se consideran subproductos ni se da trazabilidad a su destino final, por lo que la falta de

distinción entre salidas útiles y no útiles genera desperdicio, reduce la eficiencia global del proceso y afecta negativamente el desempeño ambiental de la organización.

Customers – Clientes. Los clientes son los receptores del producto del proceso, los cuales pueden dividirse en:

- Clientes externos, son quienes reciben el producto correctamente embalado (plantas, distribuidores, clientes finales).
- Clientes internos, incluyen las áreas de gestión ambiental, salud ocupacional o calidad que podrían beneficiarse de un sistema de control de residuos eficiente.
- Entes reguladores y comunidad, los cuales son actores indirectos que se ven afectados por la generación de residuos plásticos mal gestionados.

En el modelo actual, los clientes solo reciben valor por el producto final, sin interés en la gestión del zuncho, las áreas ambientales no tienen información sistematizada de estos residuos, y el entorno comunitario asume pasivamente la contaminación derivada de su acumulación o disposición no controlada, esto representa una omisión en la gestión de impactos ambientales y de responsabilidad extendida, como lo plantea la ISO 14001:2015 en su enfoque de ciclo de vida.

A continuación, se sintetiza el modelo SIPOC aplicado al proceso de uso y disposición del zuncho plástico en un entorno logístico industrial:

Tabla 1*Resumen SIPOC*

Elemento	Descripción actual
S: Proveedores	Proveedor externo de zunchos. Área de compras y logística interna. Manuales de operación.
I: Entradas	Zunchos plásticos. Tensores, selladoras, cortadoras. Operarios logísticos. Pallets y cargas. Procedimientos operativos.
P: Proceso	Embalaje. Transporte. Apertura del embalaje. Corte y descarte del zuncho. Eliminación como residuo no clasificado.
O: Salidas	Producto despachado. Zunchos plásticos desechados sin trazabilidad.
C: Clientes	Cliente externo (producto). Área ambiental (residuos). Comunidad y medio ambiente.

Análisis DOFA del sistema actual

El análisis DOFA (también conocido como FODA: Debilidades, Oportunidades, Fortalezas y Amenazas) es una herramienta estratégica que permite identificar factores internos y externos que afectan el desempeño de un sistema o proceso. En el contexto de este trabajo, el análisis DOFA se aplica a la situación actual de la gestión de los zunchos plásticos en la operación logística industrial, los cuales, pese a su volumen y potencial valorizable, son descartados sin criterios de reutilización, reciclaje o trazabilidad, generando pérdidas económicas y ambientales.

Fortalezas (F):

- Alta disponibilidad y frecuencia del suministro de zuncho post-consumo, lo cual se debe a que el sector bananero genera zuncho de manera continua, homogénea y predecible. En este sentido, esto garantiza un flujo constante de materia prima secundaria, condición clave para la viabilidad económica de un modelo productivo circular.
- Buenas propiedades físico-mecánicas del material, debido a que el zuncho post-consumo conserva resistencia, elasticidad y estabilidad dimensional después de su uso, lo cual facilita su transformación mediante procesos artesanales o semindustriales.
- Baja competencia en el aprovechamiento del residuo, ya que actualmente no existen iniciativas formales de recuperación o transformación de zuncho en la región, por lo tanto, la ausencia de actores posicionados abre espacio para un emprendimiento pionero.
- Sensibilización creciente sobre sostenibilidad en empresas y comunidades. Cabe resaltar que, aunque el proceso interno aún no incorpora circularidad, existe un interés corporativo creciente por la reducción de residuos y el cumplimiento de normativas ambientales.

- Insumo con costo casi nulo, debido a que al ser un residuo para las empresas, puede obtenerse sin costo o incluso con incentivos, reduciendo los costos fijos del emprendimiento.

Oportunidades (O):

- La Ley 2232 de 2022, la Resolución 1407 de 2018 y políticas de responsabilidad extendida del productor fomentan modelos de aprovechamiento de residuos plásticos, lo cual legitima el emprendimiento.
- Consumidores, comercios y organizaciones valoran productos con impacto ambiental reducido, lo cual crea nichos para bolsos, accesorios y productos elaborados con zuncho reciclado.
- Empresas buscando mejorar su reputación ambiental, en especial las que pertenecen al sector agroindustrial, ya que necesitan demostrar prácticas sostenibles ante certificadoras internacionales, lo cual facilita acuerdos de suministro y proyectos conjuntos.
- Posibilidad de acceso a fondos y programas de emprendimiento verde, debido a que entidades públicas y privadas financian iniciativas de economía circular, lo cual podría respaldar la estación modular, el piloto productivo o la ampliación del negocio.
- Aumenta la demanda de materias primas recicladas debido al encarecimiento de polímeros vírgenes, creando oportunidades de venta adicional del zuncho no transformado.

Debilidades (D):

- La falta de procedimientos escritos y formalizados sobre qué hacer con los zunchos post-uso genera ambigüedad y malas prácticas, lo cual impide sistematizar el proceso y medir su efectividad.

- Actualmente, no se cuantifica ni monitorea el volumen de zunchos utilizados, recolectados ni dispuestos, lo que impide evaluar el impacto económico y ambiental del desperdicio.
- El personal operativo no está sensibilizado ni capacitado en la importancia de clasificar y recuperar residuos reutilizables, esto genera resistencia y reproduce el hábito de desechar sin distinguir materiales valorizables.
- La infraestructura logística actual no contempla áreas de recolección diferenciada para residuos valorizables como el zuncho plástico, lo cual dificulta su almacenamiento temporal y posterior aprovechamiento.

Amenazas (A):

- El no cumplimiento de normativas ambientales puede derivar en multas, clausuras o pérdida de licencias, puesto que la Resolución 1407 de 2018 y la Ley 2232 de 2022 regulan estrictamente el manejo de residuos plásticos, especialmente en el sector industrial.
- Los compradores corporativos tienden a rechazar proveedores con bajo desempeño ambiental, ya que al no implementar prácticas de reciclaje o reutilización puede excluir a la organización de mercados internacionales más exigentes.
- Los operadores de residuos industriales han incrementado las tarifas de recolección, transporte y disposición final, penalizando especialmente a las empresas que no clasifican adecuadamente sus residuos.
- La presión social y mediática contra la contaminación por plásticos está en aumento. Empresas que no demuestran gestión responsable pueden ser objeto de críticas públicas o campañas de boicot.

Tabla 2*Resumen DOFA*

Fortalezas (F)	Oportunidades (O)
Alta disponibilidad y frecuencia de suministro desde el sector bananero.	Marco regulatorio que impulsa la circularidad.
Buenas propiedades físico-mecánicas del zuncho usado.	Creciente demanda de productos sostenibles.
Poca competencia en el aprovechamiento del residuo.	Empresas buscan mejorar su reputación ambiental.
Mayor interés corporativo en sostenibilidad.	Acceso a fondos de emprendimiento verde.
Costo casi nulo de la materia prima.	Mayor valorización del plástico reciclado.
Debilidades (D)	Amenazas (A)
Falta de estandarización del proceso post-uso.	Sanciones por mal manejo de residuos.
No se mide ni controla el flujo de zunchos.	Pérdida de clientes por bajo desempeño ambiental.
Personal sin capacitación ambiental.	Aumento de costos por disposición final.
Infraestructura inadecuada para acopio.	Riesgo reputacional por contaminación plástica.

Teniendo en cuenta el análisis anterior, se puede inferir que es un sistema con importantes limitaciones internas en cuanto a estandarización, medición, cultura ambiental e infraestructura, pero que opera en un entorno cada vez más favorable a la transformación hacia modelos logísticos sostenibles, por lo tanto, las oportunidades externas —como la legislación ambiental,

los incentivos económicos, y el acceso a soluciones tecnológicas y académicas— representan una ventana estratégica para rediseñar el proceso logístico del zuncho plástico, alineando la operación industrial con los principios de economía circular, responsabilidad extendida del productor y mejora continua.

Con el fin de complementar el diagnóstico del proceso actual y comprender la magnitud real del desperdicio de zuncho plástico generado en las operaciones de la empresa, se realizó una cuantificación directa del material post-consumo recibido junto con la carga proveniente de proveedores del sector bananero, por lo tanto, es importante aclarar que el residuo no se origina en la empresa como parte de su propio proceso productivo, sino que se genera durante las actividades de recepción, apertura, inspección y remontado de pallets, etapas en las cuales el zuncho es retirado para permitir el manejo interno de la mercancía. Debido a que la empresa recibe altos volúmenes de producto flejado, el zuncho se acumula de forma constante y representa un flujo significativo de residuo valorizable, lo que convierte a la organización en un proveedor directo de materia prima secundaria para el modelo de economía circular propuesto en este proyecto.

Durante un periodo continuo de catorce semanas se realizó el registro sistemático de los pallets remontados, el número estimado de zunchos utilizados en cada unidad de carga, la longitud total del material descartado y su peso aproximado, lo cual permitió caracterizar el comportamiento del residuo bajo condiciones operativas reales y evidenciar las ineficiencias asociadas a su manejo.

Tabla 3*Desperdicio de zunchos durante el periodo analizado*

Sem.	# de pallets remontados	Total de zunchos desechados (Mts)	Peso estimado (Kg)	Costos asociados
15	27	176	4	25.268
16	99	644	14	92.650
17	101	657	14	94.522
18	87	566	12	81.420
19	110	715	15	102.944
20	98	637	13	91.714
21	87	566	12	81.420
22	102	663	14	95.457
23	115	748	16	107.624
24	116	754	16	108.559
25	77	501	11	72.061
26	100	650	14	93.586
27	107	696	15	100.137
28	95	618	13	88.906
Total	1321	8.587	180	1.236.268

Los datos relacionados anteriormente evidencian que, durante el periodo evaluado, se remontaron 1.321 pallets, lo que resultó en la generación de 8.587 metros lineales de zuncho plástico post-consumo, equivalentes a 180 kilogramos de residuo, lo cual adquiere relevancia si

se considera que el material conserva sus propiedades físico-mecánicas incluso después del uso y, por tanto, podría ser aprovechado si existieran procedimientos adecuados de recolección y clasificación. Por lo tanto, el volumen acumulado confirma que la empresa actúa, en la práctica, como un centro de concentración de zuncho usado, lo cual la posiciona estratégicamente como proveedor de materia prima para el emprendimiento planteado.

El análisis cuantitativo realizado sobre el desperdicio de zuncho plástico en la operación logística de la empresa permite identificar no solo un problema de ineficiencia interna, sino también una oportunidad clara para el emprendimiento propuesto. La repetitividad del desperdicio y la homogeneidad del material evidencian que el zuncho post-consumo constituye un flujo constante de materia prima secundaria que hoy no es valorizado, pero que posee características físico-mecánicas aprovechables para su transformación, por lo que, desde la perspectiva del proyecto, esta disponibilidad representa un insumo crítico que puede obtenerse sin costo de compra, lo cual fortalece la viabilidad económica del emprendimiento al reducir de manera significativa sus costos variables y permitir que los recursos se concentren en procesos de transformación, diseño y comercialización de productos derivados del zuncho.

Para la empresa generadora del residuo, la entrega del material al emprendimiento también resulta conveniente, ya que disminuye los costos asociados a su manejo y disposición, puesto que, aunque el valor del zuncho desperdiciado durante el periodo corresponde a más de \$1.4 millones COP, esta cifra solo refleja el costo directo del insumo y no contempla los costos ocultos derivados del tiempo operativo, la limpieza de áreas, el transporte interno del residuo o el servicio externo de recolección. Por lo tanto, al ceder el material, la empresa reduce estas cargas y mejora su desempeño ambiental, al mismo tiempo que evita que cerca del 14 % del zuncho adquirido semanalmente termine como desecho sin trazabilidad, asimismo, para el emprendimiento, recibir este material mediante un esquema de donación o convenio garantiza un

suministro estable y gratuito, lo cual se traduce en ahorros superiores al 28 % del valor semanal que implicaría adquirirlo en el mercado.

De manera general, los hallazgos obtenidos evidencian que el desperdicio de zuncho constituye una problemática operativa, económica y ambiental significativa, lo cual reafirma la necesidad de implementar un sistema estructurado de recolección, clasificación y valorización que permita convertir este flujo residual en un recurso útil, reduciendo costos, mejorando la eficiencia logística e impulsando la economía circular desde el rol de la empresa como proveedor de materia prima secundaria para el proyecto.

Definición de los Módulos de la Estación Modular

La estación modular constituye el eje operacional del emprendimiento y es el componente físico donde se materializa la transición del zuncho plástico post-consumo —actualmente tratado como residuo sin valor— hacia un insumo estratégico con potencial de transformación, por lo tanto, su diseño responde a los principios de adaptabilidad, simplicidad operativa, seguridad industrial y capacidad de escalamiento, criterios fundamentales para emprendimientos en etapa inicial. Además, la estructura modular permite que cada fase del proceso pueda ser ampliada, reorganizada o tecnificada sin comprometer la continuidad operativa, garantizando así una evolución progresiva del modelo de negocio conforme aumente el volumen de material recuperado o la demanda de productos elaborados.

Desde una perspectiva ingenieril y de logística interna, la estación modular se concibe como un sistema compuesto por seis módulos funcionales, cada uno diseñado para resolver un conjunto específico de necesidades operativas dentro del flujo de valorización del zuncho. Por lo tanto, cada módulo está fundamentado en prácticas de manufactura esbelta, gestión de residuos valorizables y modelos de producción artesanal-semiindustrial, lo cual permite asegurar trazabilidad, orden, calidad y eficiencia en el proceso.

Módulo de recepción y descarga del material:

Este módulo constituye la puerta de entrada del zuncho a la cadena de valor del emprendimiento, por lo tanto, su función principal es garantizar que el material proveniente de la empresa sea recibido de manera estandarizada, segura y cuantificable. Debido a que el zuncho post-consumo presenta variabilidad en su nivel de compactación, limpieza y longitud, la recepción debe realizarse bajo criterios estrictos que permitan establecer la trazabilidad desde el origen.

Funciones analíticas:

- Registrar el volumen de ingreso para mantener control de inventarios.
- Detectar contaminación inicial (restos de fruta, humedad, objetos metálicos).
- Identificar tendencias por proveedor, lote o semana operativa.
- Determinar cargas máximas y ritmos de procesamiento.

Componentes recomendados:

- Balanza industrial o semindustrial con precisión mínima de 0,1 kg.
- Contenedor primario de recepción con bordes altos.
- Área delimitada para descarga sin interferir con operaciones cercanas.

Módulo de clasificación y selección

La clasificación es una de las etapas más críticas para la eficiencia del emprendimiento, ya que determina qué porcentaje del material será recuperable, cuánto deberá tener tratamiento adicional y qué volumen debe descartarse. Por lo tanto, esta etapa influye directamente en los costos, tiempos y calidad del producto final.

Variables críticas de clasificación

- Tipo de polímero → PP o PET, diferenciados visualmente o mediante pruebas de densidad.
- Estado físico → limpio, levemente sucio, muy sucio, húmedo.
- Integridad del material → tramos largos, tramos cortos, enredados, deformados.
- Color/tipo → blanco, verde, azul, mixtos (para productos artesanales o decorativos).

Elementos analíticos

- Clasificar reduce retrabajo y costos ocultos.
- Establece flujos paralelos determinando reutilización directa vs. pretratamiento.

- Permite estimar rendimiento (% de material útil vs. no útil).

Módulo de limpieza y pretratamiento

Este módulo es esencial para asegurar que el material cumpla con requerimientos mínimos de higiene y apariencia, por lo tanto, para la calidad visual es tan importante como la resistencia mecánica, especialmente si los productos finales son artesanales o de uso doméstico.

Actividades técnicas del módulo

- Lavado manual o semiautomático para la remoción de tierra, humedad o residuos de embalaje.
- Desinfección, solo en los casos necesarios, a través del cloro diluido o jabones neutros para eliminar microorganismos.
- Secado natural (a la sombra) o asistido con ventiladores para evitar hongos.
- Eliminación de secciones irreparables como bordes cortados, segmentos doblados o quemados.

Componentes recomendados

- Estaciones de lavado modulares con drenaje controlado.
- Mesas de secado con mallas.
- Contenedores para agua residual y sedimentos.

Módulo de acondicionamiento dimensional

Una vez limpio, el material debe acondicionarse para su incorporación a procesos de tejido, trenzado o ensamblado, por lo que, este módulo convierte material irregular en insumo estandarizado, reduciendo variabilidad y facilitando operaciones posteriores.

Operaciones principales

- Desenredo, lo cual permite recuperar secciones largas sin rupturas.

- Estirado manual con el fin de mejorar la apariencia y reducir las curvas indeseadas.
- Cortes estandarizados según longitudes usadas para productos (30 cm, 50 cm, 1 m, etc.).
- Enrollado para almacenamiento, lo que facilita transporte interno y evita nuevos enredos.

A tener en cuenta:

- Un acondicionamiento adecuado incrementa el rendimiento productivo.
- Reduce desperdicio interno del emprendimiento.
- Permite planear lotes de producción según demanda.

Módulo de almacenamiento intermedio

El almacenamiento ordenado es clave en emprendimientos que operan con insumos recuperados, pues evita daños, pérdida de lotes y contaminación.

Aspectos a tener en cuenta:

- Debe garantizar que el zuncho se conserve seco, limpio y sin deformaciones.
- Requiere rotación FIFO para asegurar uso eficiente del material.
- Permite manejar volúmenes crecientes sin comprometer espacio físico.

Componentes sugeridos

- Estanterías metálicas con separación por categorías.
- Cajas o contenedores etiquetados por tipo de material.
- Tarjetas de control de inventario o sistema digital básico (Excel, Google Sheet).

Módulo de preformado y adaptación del material (Pre-manufactura)

Este módulo actúa como puente entre el acondicionamiento dimensional y la manufactura avanzada, ya que es aquí donde se prepara el material en formas específicas requeridas por el artículo elegido.

Funciones principales

- Aplicación de calor controlado para dar curvatura o rigidez.
- Laminado o superposición de tiras para aumentar el espesor.
- Pruebas de flexibilidad, resistencia y deformación.
- Acondicionamiento del zuncho en formas base (lazos, bandas, tiras reforzadas).

Módulo de fabricación del artículo (Manufactura principal)

Este módulo es el núcleo del proceso de producción del producto final, por lo que, se adapta al tipo de artículo elegido (canastos, bolsos, porta-macetas, artículos organizadores, porta-botellas, etc.).

Procesos que puede incluir

- Tejidos artesanales o semitécnicos.
- Trenzados funcionales (simples, dobles o múltiples).
- Ensamblaje estructural con moldes o guías.
- Construcción de paredes, bases o componentes del artículo.
- Integración de elementos complementarios (bases de madera, argollas, broches).

Herramientas típicas

- Prensas manuales.
- Moldes en madera o PVC.
- Grapadoras industriales.
- Pistolas de aire caliente para moldear.
- Herramientas de sujeción (prensas, mordazas, sargentos).

Módulo de acabados, ensamble final y control de calidad

Una vez construido el artículo, este módulo se encarga de darle una apariencia profesional y de garantizar su funcionalidad.

Actividades clave

- Recorte de excedentes y emparejamiento de bordes.
- Aplicación de calor para sellado y estética.
- Integración de accesorios como manijas, tapas, remaches y decoraciones.
- Revisión estructural (cargas, torsión, estabilidad).
- Estándares visuales: uniformidad de color, textura y acabado.

Módulo de empaque, almacenamiento del producto final y despacho

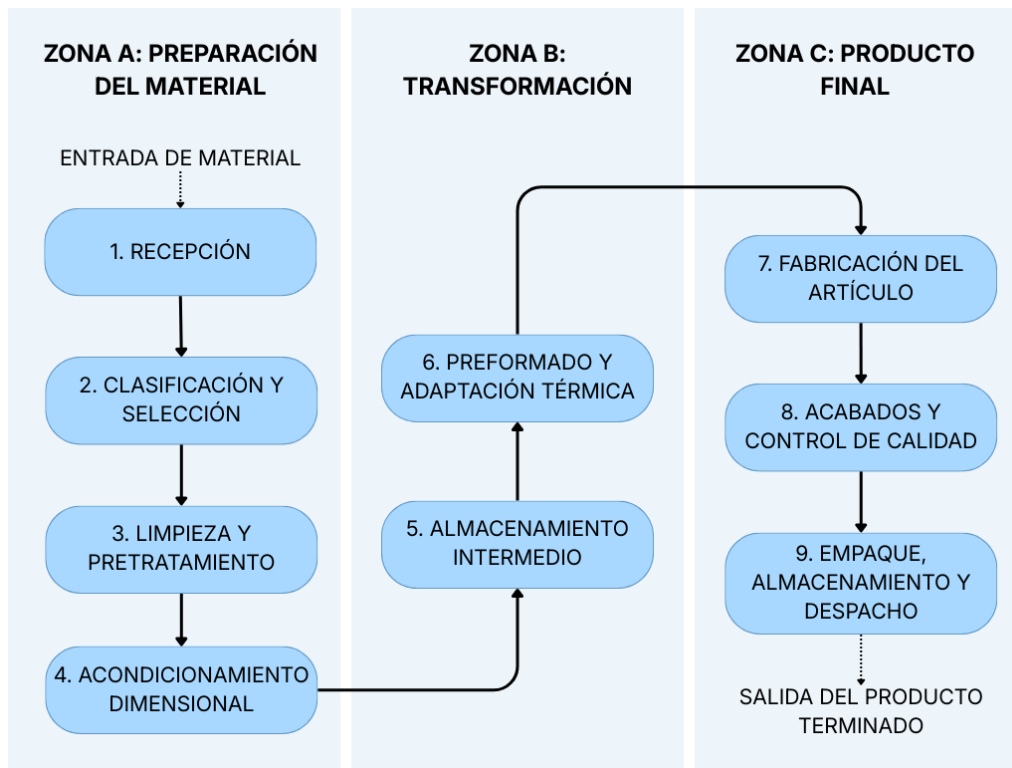
Este módulo cierra el ciclo y se orienta hacia la entrega del producto terminado.

Funciones operativas

- Empaque seguro y estético de cada artículo.
- Etiquetado (marca, origen, información ambiental).
- Registro de inventario del producto terminado.
- Almacenamiento en estanterías específicas.
- Preparación para despacho o entrega.

Figura 2

Layout de la estación modular



Fichas Técnicas de los Módulos de la Estación Modular

La estación modular propuesta se estructura a partir de un conjunto de módulos operativos que permiten transformar el zuncho plástico post-consumo en un insumo reutilizable y, posteriormente, en productos con valor agregado. Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente y con el fin de garantizar claridad conceptual y operativa, se desarrolló una ficha técnica consolidada para cada módulo, en la cual se describen sus equipos requeridos, entradas, salidas, indicadores e implicaciones operativas.

Cabe resaltar que, este enfoque metodológico permite visualizar la estación como un sistema flexible, escalable y adaptable a diferentes niveles de producción, lo que resulta fundamental para el emprendimiento, cuyo modelo de negocio depende de una gestión eficiente del material recuperado y de la obtención de productos con estándares consistentes. La tabla que se presenta a continuación sintetiza los aspectos esenciales de los diez módulos que conforman la estación modular, y sirve como base para el diseño del layout, la planificación operativa y el análisis de capacidad del sistema:

Tabla 4*Resumen fichas técnicas de los módulos*

Módulo	Equipos/Componentes principales	Entradas	Salidas	Indicadores KPI	Riesgos y Controles
Recepción y descarga	Balanza, mesa de inspección, contenedor primario.	Zuncho sin clasificar.	Lote recibido y registrado.	Kg/lote; tiempo de descarga; contaminación inicial.	Cortes → guantes; golpes → señalización.
Clasificación y selección	Mesas amplias, contenedores, tijeras.	Lote recibido.	Sub-lotes homogéneos.	% recuperable; errores de clasificación; tiempo por lote.	Desorden → áreas delimitadas; cortes → EPP.
Limpieza y pretratamiento	Tanques, cepillos, detergente, bandejas.	Zuncho clasificado.	Material limpio y seco.	Min/kg; consumo de agua; % re-lavado.	Resbalones → piso texturizado; higiene → protocolos.
Acondicionamiento dimensional	Mesas de corte, guías, cuchillas.	Zuncho limpio.	Zuncho estandarizado.	Variabilidad de longitud; rendimiento útil; min/unidad.	Cortes → manejo de cuchillas; enredos → método.
Almacenamiento intermedio	Estanterías, contenedores, registros.	Material estandarizado.	Inventario disponible.	Rotación; % pérdida por humedad; inventario útil.	Humedad → ventilación; caídas → estantes anclados.

Preformado y adaptación térmica	Pistolas térmicas, moldes, termómetro.	Preformas, prensas,	Piezas moldeadas.	% deformación aceptable; tiempo por pieza.	Exceso de calor → control; quemaduras → EPP.
Fabricación del artículo	Moldes de producción, remachadoras,	Piezas moldeadas, prensas.	Artículo ensamblado.	Min/unidad; medidas finales; % retrabajo.	Golpes/herramientas → capacitación; control intermedio.
Acabados y control de calidad	Tijeras industriales, pistola de calor, checklist.	Artículo armado.	Producto final.	% defectos; tiempo de acabado; cumplimiento estándar.	Cortes → guantes; fallas → inspección sistemática.
Empaque, almacenamiento y despacho	Estanterías, insumos de empaque, etiquetas.	Producto final.	Producto empacado y listo para entrega.	% daños en almacenamiento; rotación; tiempo por pedido.	Caída de productos → orden; humedad → control.

Diseño del Flujo Operativo del Proceso de Transformación del Zuncho

Con el fin de establecer un proceso claro, estandarizado y técnicamente viable para la transformación del zuncho plástico post-consumo en productos de valor agregado, se diseña a continuación un flujo operativo que integra las etapas de preparación del material, manufactura inicial y fabricación del artículo final. Este flujo parte del suministro de zuncho post-consumo por parte del proveedor y termina en la obtención de un producto comercializable, alineado con el modelo de economía circular planteado en el proyecto.

FASE 0 — Inicio / Preparación

- Acción: Abrir turno, revisar registro de recepción programada, preparar EPIs y estaciones.
- Entradas: Plan de producción semanal, órdenes de recolección.
- Herramientas: Check-list diario, matriz de lotes.
- Salida: Estación lista para recepción.
- Control: Check-list 100% completado.

FASE 1 — Recepción y registro

- Acción: Descargar lotes en área de recepción; inspección visual rápida.
- Entradas: Pallets con zuncho proveniente de la empresa (proveedor).
- Herramientas: Balanza industrial, mesa de inspección, EPP.
- Salida: Lote colocado en contenedor primario; anotación inicial.
- Control: Registro de peso y observaciones (contaminación, enredos).

FASE 2 — Clasificación y selección

Paso 2.1 — Extendido y evaluación detallada

- Acción: Extender tiras para evaluar longitud, integridad y tipo.
- Entradas: Lote recibido.

- Herramientas: Mesas, guantes, marcadores, contenedores etiquetados.
- Salida: Sub-lotes A (utilizable), B (requiere pretratamiento/recorte), C (no aprovechable).
- Control: Registro % material A/B/C por lote.

Paso 2.2 — Clasificación por producto objetivo

- Acción: Marcar sub-lotes según destino.
- Salida: Sub-lotes etiquetados según el producto.

FASE 3 — Limpieza y pretratamiento

Paso 3.1 — Lavado

- Acción: Lavar sub-lotes con detergente biodegradable en tanques; frotar y enjuagar.
- Herramientas: Tanques, cepillos, bombas de agua.
- Salida: Material enjuagado listo para secado.
- Control: Inspección visual: manchas persistentes → marcar para relavado (volver a Paso 3.1).

Paso 3.2 — Secado

- Acción: Escurrido y secado en racks; ventiladores si aplica.
- Salida: Material seco.
- Control: Medición humedad superficial (tocar/test visual). Si húmedo → tiempo adicional de secado.

FASE 4 — Acondicionamiento dimensional

Paso 4.1 — Desenredo y estirado

- Acción: Desenredar y estirar tiras largo por largo para recuperar rectitud.
- Herramientas: Mesas con rodillos, guías manuales.
- Salida: Tiras desenredadas.

Paso 4.2 — Corte y estandarización por producto

- Acción: Cortar longitudes estándar (1–1,5 m) y anchos requeridos.
- Herramientas: Cuchillas industriales, enrolladores.
- Salida: Insumos estandarizados por producto (manojos etiquetados).
- Control: Medición de longitudes (tolerancia ± 2 cm).

FASE 5 — Almacenamiento intermedio

- Acción: Ingresar lotes al inventario FIFO; ubicar en estantería por tipo de producto.
- Herramientas: Etiquetas, registro digital/Excel, estanterías.
- Salida: Material disponible para la línea de producción.
- Control: KPI: Kg disponibles, días en stock.

FASE 6 — Manufactura inicial / trenzado

Paso 6.1 — Preparación de la estación de tejido/trenzado

- Acción: Disponer manojos en mesa de trabajo; definir patrón de tejido.
- Herramientas: Sargentos, ganchos, plantilla de tejido.

Paso 6.2 — Ejecución del trenzado / tejido base

- Acción: Tejer paneles (base y laterales) con patrones definidos; densidad de tejido según resistencia requerida.
- Salida: Preformas según el producto.
- Control: Medir tensión del tejido; probar resistencia manual mínima.

FASE 7 — Preformado térmico y adaptación

- Acción: Usar moldes para dar forma a la base y las paredes, también fijar puntos críticos.
Aplicar calor puntual para rectificar bordes y curvatura anatómica.
- Herramientas: Pistolas térmicas, moldes, prensas.

- Salida: Piezas con forma estable (semielaborados).
- Control: Comprobación dimensional vs plantilla.

FASE 8 — Ensamblaje estructural

- Acción: Unir paneles laterales con base; coser o remachar puntos de tensión; integrar asas.
- Herramientas: Grapadoras, remachadoras, agujas, pistola de calor.
- Salida: Producto estructuralmente armado.
- Control: Check de alineación, estado de fijaciones.

FASE 9 — Acabados y control de calidad

- Acciones: recortar hilos, sellar bordes, añadir etiquetas y refuerzos, prueba de carga o tensión.
- Herramientas: Tijeras de precisión, reglas, pesas de prueba.
- Salida: Producto terminado con especificaciones cumplidas.
- Control: Lista de verificación de calidad (dimensiones, resistencia, acabado).
Aprobación/Rechazo.

FASE 10 — Empaque, almacenamiento y despacho

Paso 10.1 — Empaque y etiquetado

- Acción: Empacar con materiales ecológicos; etiquetar con información del producto y origen circular.
- Salida: Producto listo para venta o entrega.
- Control: Registro en inventario final; KPI: tasa de daños en almacenamiento.

Paso 10.2 — Despacho / comercialización

- Acción: Preparar pedidos, coordinar envío o entrega al punto de venta.

- Herramientas: Formularios de despacho, sistema de inventario.
- Salida: Producto entregado al cliente/mercado.

Con el fin de garantizar la viabilidad operativa de la estación modular propuesta para la recuperación y transformación de zunchos plásticos post-consumo, se elaboró una lista estructurada de materiales y equipos (Bill of Materials – BOM) que identifica los recursos físicos necesarios para la implementación del proceso productivo.

La BOM constituye una herramienta fundamental dentro del diseño de sistemas productivos, ya que permite organizar de manera sistemática los equipos, herramientas y elementos requeridos en cada etapa del proceso, facilitando la planificación operativa, la estimación de costos de implementación y la evaluación de la factibilidad técnica del proyecto, por lo tanto, a continuación se relaciona la lista de materiales considerando los distintos módulos que componen la estación modular de transformación del zuncho, desde la recepción del material hasta el acabado y almacenamiento del producto final:

Tabla 5

Lista BOM

Elemento	Tipo	Cantidad	Módulo del proceso	Función dentro del proceso
Balanza industrial	Equipo	1	Recepción	Pesaje del zuncho recibido para registro de volumen recuperado
Mesa de inspección	Equipo	1	Clasificación	Permite extender y evaluar visualmente las tiras de zuncho
Contenedores plásticos	Equipo	4	Clasificación	Almacenamiento temporal según tipo o estado del material

Estanterías metálicas	Equipo	2	Almacenamiento	Organización y almacenamiento intermedio del material
Tijeras industriales	Herramienta	3	Acondicionamiento	Corte y ajuste de longitud del zuncho
Cuchillas de precisión	Herramienta	2	Acondicionamiento	Eliminación de secciones defectuosas
Pistola de calor	Equipo	2	Preformado	Aplicación de calor para moldeado y adaptación del material
Moldes de preformado	Equipo	2	Preformado	Dar forma inicial a piezas de zuncho
Prensa manual	Equipo	1	Fabricación	Ajuste y compactación de piezas durante el ensamblaje
Remachador manual	Herramienta	1	Fabricación	Unión de componentes en bolsos u otros productos
Agujas industriales	Herramienta	4	Fabricación	Ensamble manual de piezas
Mesa de trabajo	Equipo	1	Fabricación	Superficie para ensamblaje del producto
Guantes de seguridad	EPP	4	Todas las etapas	Protección contra cortes y manipulación del material
Gafas de seguridad	EPP	2	Todas las etapas	Protección ocular durante corte o calor
Pistola térmica de acabado	Equipo	1	Acabados	Eliminación de irregularidades del material

Estantería de producto terminado	Equipo	1	Almacenamiento final	Almacenamiento de productos terminados
Insumos de empaque	Consumible	Variable	Despacho	Empaque y presentación del producto final

Desarrollo de Prototipos de Productos

La fase de desarrollo de prototipos representa una etapa fundamental dentro del proceso de diseño y experimentación del proyecto, ya que permite trasladar las ideas planteadas en etapas conceptuales hacia la materialización concreta de productos funcionales, por lo tanto, en el contexto de este proyecto, esta fase se orientó hacia la exploración del potencial de reutilización de zunchos plásticos reciclados provenientes del proceso de producción, material que previamente fue identificado como un residuo con posibilidades de transformación dentro de estrategias de aprovechamiento y economía circular.

El objetivo principal de esta fase consistió en diseñar, construir y analizar prototipos de productos utilizando este material reciclado, con el fin de evaluar su comportamiento estructural, su viabilidad dentro de procesos de fabricación manual y su potencial para el desarrollo de objetos funcionales. En este caso, para cumplir con este objetivo se planteó la construcción de tres prototipos pertenecientes a la categoría de accesorios, los cuales presentan diferencias en tamaño, uso y configuración estructura como son un bolso para mercar, un bolso de mano y una cartera, lo cual permitió analizar cómo el material responde cuando se utiliza en diferentes escalas y contextos de uso, identificando tanto sus ventajas como las limitaciones que pueden surgir durante el proceso de transformación.

Cabe resaltar que, el desarrollo de los prototipos se realizó mediante una metodología experimental de fabricación manual, basada en la manipulación, organización y ensamblaje de tiras de zunchos plásticos reciclados. Asimismo, debido a que el material utilizado proviene de residuos industriales generados en el proceso productivo, fue necesario implementar un proceso de adaptación que permitiera transformarlo en un recurso apto para la construcción de productos., por lo que, la metodología utilizada se estructuró en las siguientes etapas:

1. Selección y preparación del material reciclado

2. Diseño de plantillas y moldes para cada producto
3. Corte y preparación de las tiras de zuncho plástico
4. Ajuste dimensional de las piezas para permitir las uniones
5. Proceso de ensamblaje mediante entrelazado del material
6. Fijación de las uniones mediante costuras
7. Incorporación de elementos funcionales y decorativos
8. Evaluación del proceso y realización de ajustes constructivos

Este enfoque metodológico permitió desarrollar un proceso progresivo y analítico, en el cual cada prototipo funcionó como una oportunidad para mejorar la comprensión del material y optimizar las técnicas de fabricación.

Selección y preparación del material

El material principal utilizado para la elaboración de los prototipos corresponde a zunchos plásticos reciclados provenientes del proceso de producción industrial, los cuales normalmente son empleados para asegurar cargas o paquetes durante procesos de embalaje y transporte, los cuales se caracterizan por poseer propiedades como: alta resistencia mecánica, durabilidad, capacidad de soportar tensión y resistencia al desgaste, las que hacen que el material sea potencialmente adecuado para la fabricación de productos que requieren estabilidad estructural y resistencia al uso cotidiano.

No obstante, durante el proceso de prototipado se identificó que los zunchos donados presentaban un grosor considerable, lo cual reducía su flexibilidad y dificultaba su manipulación durante el proceso de tejido y ensamblaje, lo cual obligó a realizar el proceso constructivo de manera más cuidadosa y metódica, controlando la tensión del material durante el entrelazado de las tiras para evitar deformaciones en la estructura.

Elaboración de plantillas y definición de moldes

Como parte fundamental del proceso de fabricación de los prototipos, se realizó la elaboración de plantillas para cada uno de los productos desarrollados, con el propósito de establecer de manera precisa las dimensiones, proporciones y configuración estructural de los accesorios antes de iniciar el proceso de ensamblaje del material reciclado. Cabe resaltar que la utilización de plantillas constituye una herramienta ampliamente empleada dentro de los procesos de diseño y producción, tanto en contextos artesanales como industriales, ya que permite garantizar mayor precisión dimensional, facilitar la repetibilidad de los procesos de fabricación y reducir posibles errores durante la construcción de los productos.

En el caso específico de este proyecto, la implementación de plantillas resultó especialmente relevante debido a las características físicas del material principal utilizado, correspondiente a zunchos plásticos reciclados provenientes del proceso de producción, ya que este material presenta propiedades particulares como un grosor considerable y una maleabilidad limitada, lo que implica que su manipulación requiere un proceso más controlado en comparación con otros materiales textiles o sintéticos más flexibles. Debido a estas condiciones, cualquier variación en las dimensiones o en la organización de las tiras durante el proceso de tejido podría generar deformaciones en la estructura final del producto, lo cual hizo necesario establecer previamente las dimensiones de los prototipos mediante moldes o plantillas que sirvieran como referencia durante todo el proceso de construcción.

Las plantillas fueron diseñadas considerando las dimensiones funcionales de cada uno de los productos a desarrollar, teniendo en cuenta el uso previsto para cada accesorio y las condiciones estructurales necesarias para su funcionamiento, de esta manera, se definieron tres configuraciones principales correspondientes a los tres tipos de productos elaborados dentro del proyecto: un canasto de mercado, un bolso de mano y un bolso de manos libres.

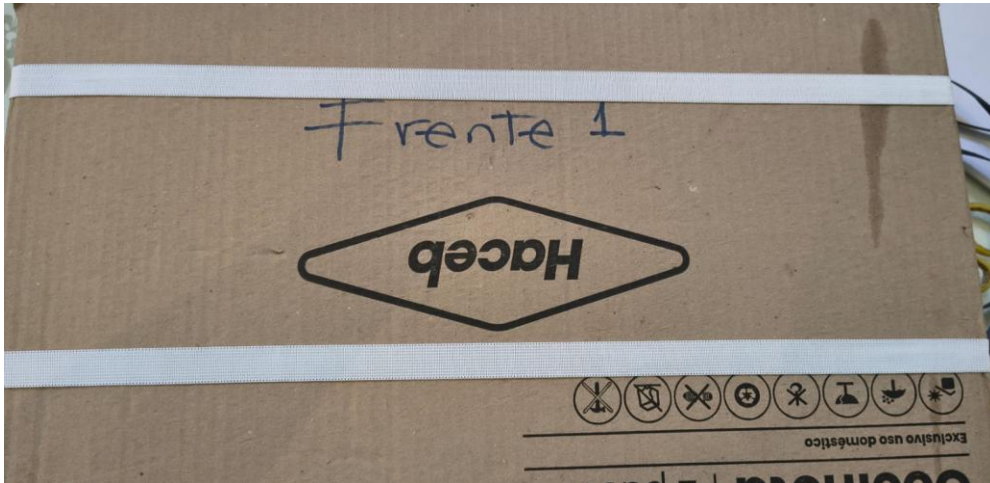
Durante la construcción de los prototipos, las plantillas funcionaron como una referencia física sobre la cual se disponían las tiras de zuncho en sentido longitudinal y transversal, lo que permitió mantener una distribución uniforme del material y asegurar que el tejido conservara una geometría regular desde las primeras etapas de ensamblaje.

A medida que avanzó el proceso de prototipado, se identificó la necesidad de realizar algunos ajustes en las dimensiones inicialmente planteadas en las plantillas, principalmente en lo relacionado con la longitud de ciertas tiras de material, ya que durante las primeras etapas de ensamblaje se observó que algunas piezas requerían una longitud adicional para permitir la realización adecuada de las uniones mediante costura, por lo cual, se decidió añadir algunos centímetros adicionales en determinados segmentos de las tiras, especialmente en los extremos destinados a las zonas de fijación, lo cual facilitó la manipulación del material y permitió obtener un acabado más seguro y estructuralmente estable.

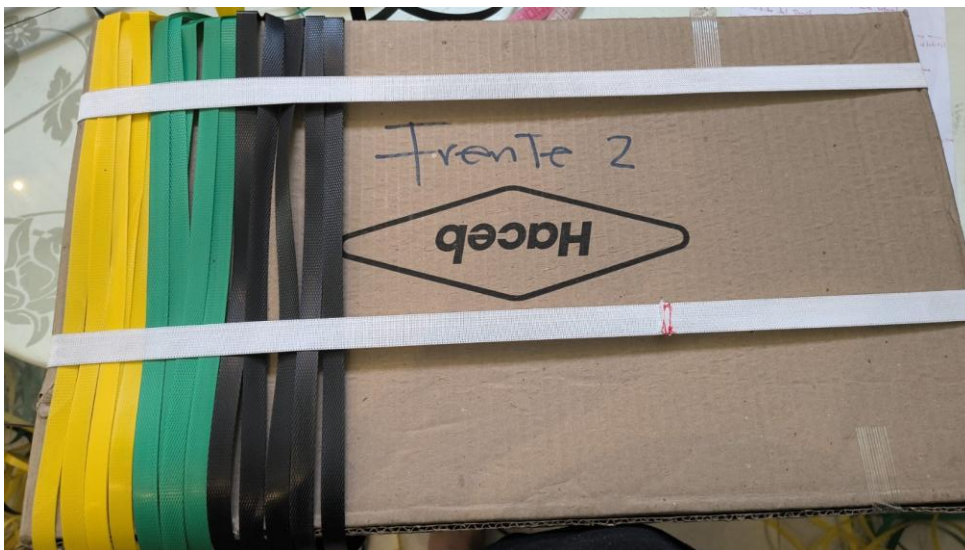
En términos generales, la utilización de plantillas dentro del proceso de desarrollo de los prototipos permitió establecer una metodología de fabricación más organizada, facilitando tanto la planificación previa de los productos como la ejecución del proceso de ensamblaje, lo que contribuyó a mejorar la comprensión del comportamiento del material durante su transformación, permitiendo identificar con mayor claridad las condiciones necesarias para trabajar con zunchos plásticos reciclados dentro del diseño de accesorios. De esta manera, las plantillas no solo funcionaron como una herramienta técnica para la definición de dimensiones, sino también como un recurso metodológico que permitió articular el proceso de diseño conceptual con la materialización física de los prototipos desarrollados en el marco del proyecto.

Figura 3.

Plantilla utilizada como guía para la definición de dimensiones y organización del tejido en el prototipo 1 Frente 1

**Figura 4**

Plantilla utilizada como guía para la definición de dimensiones y organización del tejido en el prototipo 1 Frente 2



Desarrollo y análisis de los prototipos

Como resultado del proceso descrito anteriormente, se procedió a la construcción de tres prototipos funcionales elaborados a partir de zunchos plásticos reciclados, lo cual tuvo como propósito principal evaluar el comportamiento del material en la fabricación de productos reales, analizando tanto sus propiedades estructurales como las posibilidades de transformación que ofrece dentro del diseño de accesorios.

La selección de los tres productos desarrollados responde a la intención de experimentar con diferentes escalas de uso y niveles de exigencia estructural, en este sentido, se diseñaron tres tipos de accesorios que presentan variaciones en tamaño, funcionalidad y forma: un canasto de mercado, un bolso de mano y un bolso de manos libres, lo que permitió analizar cómo el material responde ante diferentes condiciones de carga, manipulación y organización estructural, lo cual resulta relevante para comprender el potencial de reutilización del zuncho plástico dentro de propuestas de diseño sostenible.

El proceso de desarrollo de los prototipos se llevó a cabo mediante técnicas de ensamblaje manual basadas principalmente en el entrelazado de tiras de zuncho plástico reciclado, esto permite generar superficies estructurales relativamente firmes a partir de la intersección de múltiples tiras organizadas de forma longitudinal y transversal. Cabe resaltar que, a diferencia de otros materiales utilizados tradicionalmente en la fabricación de accesorios, el zuncho plástico presenta una rigidez considerable, lo cual implica que el proceso de tejido debe realizarse con especial cuidado para evitar deformaciones en la estructura del producto.

Durante la fabricación de los prototipos también se incorporaron algunos materiales complementarios que cumplen funciones específicas dentro del diseño de los accesorios, entre los que se encuentran mangueras utilizadas como refuerzo estructural y parte del sistema de agarre, así como cierres y broches que permiten mejorar la funcionalidad de los productos. La

combinación de estos elementos con el material reciclado permitió desarrollar objetos que no solo cumplen una función utilitaria, sino que también presentan un nivel adecuado de acabado y presentación estética.

El proceso de prototipado se desarrolló de manera progresiva, permitiendo realizar ajustes en la organización del material y en las técnicas de ensamblaje a medida que se avanzaba en la construcción de los diferentes productos, lo que facilitó la identificación de dificultades asociadas al manejo del material, así como la implementación de mejoras que permitieron optimizar el proceso de fabricación en los prototipos posteriores.

Prototipo 1 – Bolso para mercar

El primer prototipo desarrollado corresponde a un canasto de mayor tamaño diseñado para el transporte de productos o compras, el cual fue concebido como una forma de evaluar el comportamiento estructural del zuncho plástico reciclado cuando se utiliza en superficies más amplias y en objetos que requieren soportar una mayor carga.

El proceso de construcción comenzó con la organización inicial de las tiras de zuncho sobre la plantilla correspondiente a la base del canasto, las cuales fueron dispuestas inicialmente en sentido longitudinal, formando la estructura base del producto. Posteriormente se inició el proceso de entrelazado transversal, mediante el cual las tiras se entrecruzan progresivamente generando un patrón de tejido que permite distribuir las tensiones a lo largo de toda la superficie del objeto.

A medida que el tejido avanzaba, las tiras laterales fueron levantadas para formar las paredes del canasto, dando lugar a la estructura tridimensional del producto, este proceso requirió especial atención debido al grosor del material, ya que una tensión excesiva podía generar deformaciones en la estructura, por lo cual, el ensamblaje se realizó de manera gradual y controlada. Durante la construcción también se incorporaron mangueras plásticas en las zonas

destinadas al sistema de agarre, lo cual permitió mejorar la ergonomía del producto y reforzar la resistencia de las asas, también se añadieron elementos decorativos que contribuyen a mejorar la apariencia estética del bolso sin afectar su funcionalidad.

Cabe resaltar que, el tiempo aproximado de elaboración de este prototipo fue de ocho horas, lo cual refleja el nivel de detalle requerido en la organización del tejido y en el ensamblaje de las diferentes partes del producto.

Figura 5

Prototipo final de canasto de mercado elaborado con zunchos plásticos reciclados



Desde una perspectiva analítica, este prototipo permitió identificar que el zuncho plástico reciclado posee un alto potencial para la fabricación de productos que requieren resistencia estructural, puesto que su rigidez, que inicialmente puede representar una dificultad durante el proceso de tejido, se convierte posteriormente en una ventaja al proporcionar estabilidad al producto final.

Prototipo 2 – Bolso de mano

El segundo prototipo corresponde a un bolso de mano de tamaño intermedio, diseñado para transportar objetos personales de uso cotidiano, este producto permitió analizar el comportamiento del material en una escala más compacta, donde la precisión del ensamblaje adquiere mayor importancia.

El proceso de fabricación siguió una metodología similar a la empleada en el prototipo anterior, iniciando con la organización de las tiras de zuncho sobre la plantilla correspondiente a la base del bolso, posteriormente se realizó el proceso de entrelazado del material, generando una superficie estructural que posteriormente fue elevada para formar los laterales del producto.

Durante la construcción se realizaron algunos ajustes en la cantidad de tiras utilizadas, con el fin de mejorar la estabilidad del tejido y evitar deformaciones en la estructura, asimismo, en este caso se incorporaron cierres a presión y broches que permiten asegurar el contenido del bolso, lo cual mejora su funcionalidad y lo hace más adecuado para el transporte de objetos personales.

Cabe resaltar que, el tiempo aproximado de elaboración de este prototipo fue de cuatro horas, lo cual evidencia una mayor eficiencia en el proceso constructivo como resultado de la familiarización con el material y con la técnica de ensamblaje.

Figura 6

Prototipo final de bolso de mano elaborado con zunchos plásticos reciclados



Desde el punto de vista del diseño, este prototipo demuestra que el material reciclado puede adaptarse adecuadamente a productos de menor escala sin perder sus propiedades estructurales, además, el patrón visual generado por el entrelazado aporta al producto una estética particular que puede asociarse con tendencias contemporáneas de diseño sostenible y reutilización de materiales.

Prototipo 3 – Bolso de manos libres

El tercer prototipo corresponde a bolso de manos libres de menor tamaño, pensada para transportar objetos personales esenciales. este prototipo representó un desafío particular dentro del proceso de prototipado, debido a que las dimensiones reducidas del producto incrementan la complejidad del ensamblaje cuando se trabaja con un material relativamente rígido como el zuncho plástico.

Durante el primer intento de construcción se evidenció que la estructura tendía a deformarse, ya que el grosor del material dificultaba la conformación de superficies pequeñas con curvaturas controladas, por lo que fue necesario repetir el proceso de fabricación, realizando algunos ajustes en la distribución de las tiras y en el ritmo de trabajo durante el ensamblaje.

En el segundo intento se decidió realizar el proceso de tejido con mayor calma, prestando especial atención a la alineación de las tiras y a la distribución de las tensiones dentro de la estructura, asimismo, se realizaron pequeños ajustes en la cantidad de tiras utilizadas, lo cual permitió mejorar la estabilidad del prototipo final. Cabe resaltar que, el tiempo aproximado de elaboración de este prototipo fue de tres horas, sin considerar el tiempo invertido en el primer intento que debió repetirse.

Figura 7

Prototipo final de bolso de manos libres elaborada con zunchos plásticos reciclados



El desarrollo de este prototipo permitió comprender con mayor claridad algunas de las limitaciones del material cuando se trabaja en escalas pequeñas, no obstante, también evidenció que, mediante ajustes en la técnica de ensamblaje y en la organización del material, es posible adaptar el zuncho plástico reciclado a productos compactos sin comprometer su estabilidad estructural.

Fichas Técnicas de los Prototipos

Con el propósito de sistematizar la información obtenida durante el proceso de desarrollo de los prototipos, se elaboraron fichas técnicas que permiten registrar de manera organizada las principales variables asociadas a la fabricación de cada uno de los productos, en este sentido, estas fichas recopilan información relacionada con las dimensiones generales de los accesorios, las medidas de las tiras de zuncho utilizadas, la cantidad de material requerido y el tiempo aproximado de elaboración.

Cabe resaltar que, la elaboración de estas fichas constituye un elemento metodológico relevante dentro del proyecto, ya que permite documentar de forma estructurada el proceso de fabricación, facilitando tanto el análisis del comportamiento del material como la posibilidad de replicar el proceso de producción en contextos futuros. Asimismo, este tipo de registro técnico permite evidenciar cómo las características dimensionales de cada producto influyen directamente en la cantidad de material requerido y en la complejidad del proceso de ensamblaje.

La información presentada en la tabla se construyó a partir de los registros realizados durante el proceso de diseño y elaboración de los prototipos, en los cuales se calcularon las dimensiones de las tiras necesarias para cada sección de los productos, teniendo en cuenta variables como la altura de las paredes, el ancho del fondo, la longitud de las superficies a tejer y el margen adicional requerido para realizar las uniones mediante costura. A continuación, se presentan las fichas técnicas correspondientes a los tres prototipos desarrollados durante esta fase del proyecto:

Tabla 6*Fichas técnicas de los prototipos*

Producto	Dimensiones	Tipo	Longitud	Cantidad	Material complementario	Tiempo de fabricación
Canasto de mercado	Ancho: 14 cm	Tiras verticales (estructura)	108 cm	39	Mangueras para asas, costura, elementos	8 horas
	Alto: 32 cm	Tiras	156 cm	20	decorativos	
	Largo: 56 cm	Tiras horizontales (tejido del cuerpo)	118 cm	11	laterales	
Bolso de mano	Largo: 22 cm	Tiras verticales	56 cm	18 tiras	Cierre, broches, costura	4 horas
	Alto: 12.5 cm	Tiras	74 cm	9 tiras		
	Ancho: 9 cm	Tiras horizontales laterales	70 cm	7 tiras		
Bolso de manos libres	Largo: 17 cm	Tiras verticales	54 cm	14 tiras	Broche, costura	3 horas
	Alto: 8 cm	Tiras	66 cm	6 tiras		
	Ancho lateral: 6 cm	Tiras horizontales cuerpo				

Tapa: 12 cm	Tiras	53 cm	5 tiras
x 17 cm	laterales		
	Tiras para	37 cm	9 tiras
	tapa		

A partir de la información presentada en la tabla es posible observar que existe una relación directa entre el tamaño del producto, la cantidad de material utilizado y el tiempo requerido para su fabricación, ya que el prototipo correspondiente al canasto de mercado demandó una mayor cantidad de tiras de zuncho y un mayor tiempo de elaboración debido a sus dimensiones y a la necesidad de garantizar una estructura suficientemente resistente para soportar carga. Por su parte, los prototipos de menor tamaño, como el bolso de mano y el de manos libres, requirieron menos material y menor tiempo de fabricación, aunque implicaron un mayor nivel de precisión durante el proceso de ensamblaje debido a la escala más reducida de los productos.

En términos generales, las fichas técnicas permiten evidenciar que el uso de zunchos plásticos reciclados puede adaptarse a diferentes tipos de accesorios mediante técnicas relativamente simples de tejido y ensamblaje.

Conclusiones

El desarrollo del presente trabajo permitió diseñar y analizar un proceso productivo orientado a la transformación de zunchos plásticos post-consumo en productos funcionales, evidenciando que este tipo de residuo posee un potencial significativo de aprovechamiento dentro de esquemas de economía circular, ya que a partir del diagnóstico inicial, fue posible identificar las características del material y su disponibilidad en contextos industriales, lo cual constituyó la base para el diseño del proceso y la definición de las etapas necesarias para su transformación.

La construcción de prototipos permitió validar de manera práctica la viabilidad técnica del uso de zunchos plásticos reciclados en la fabricación de accesorios, cabe resaltar que, durante este proceso se evidenció que, a pesar de la rigidez y limitada maleabilidad del material, es posible adaptarlo mediante técnicas de entrelazado manual para obtener productos con propiedades estructurales adecuadas. Asimismo, la experiencia de prototipado facilitó la identificación de ajustes necesarios en la manipulación del material, tales como la modificación en la longitud de las tiras y la organización del tejido, lo cual contribuyó a mejorar la estabilidad y el acabado de los productos finales.

Por otra parte, el desarrollo de fichas técnicas y la sistematización de la información permitieron establecer una base metodológica clara para la replicabilidad del proceso, facilitando su comprensión y posible implementación en contextos similares, en este sentido, el trabajo no solo aporta una propuesta de transformación de residuos, sino que también estructura un procedimiento que puede ser adaptado a diferentes escenarios productivos.

Desde una perspectiva de sostenibilidad, el proyecto demuestra que la reutilización de zunchos plásticos contribuye a la reducción de residuos sólidos, promoviendo su reincorporación dentro de nuevos ciclos de uso, aunque no se realizó una evaluación ambiental cuantitativa

detallada, los resultados obtenidos permiten inferir un impacto positivo asociado a la disminución de materiales destinados a disposición final.

Finalmente, el trabajo evidencia que la integración de herramientas de diseño de procesos, desarrollo de prototipos y estandarización constituye una estrategia efectiva para analizar la viabilidad de propuestas orientadas al aprovechamiento de residuos, en este sentido, se plantea como línea futura de investigación la profundización en el análisis económico y ambiental del proceso, así como la exploración de alternativas de mecanización o mejora del sistema productivo que permitan incrementar su eficiencia y escalabilidad.

Bibliografía

- Ballou, R. H. (2004). *Logística: Administración de la cadena de suministro* (5.^a ed.). Pearson.
- Banks, J., Carson, J. S., Nelson, B. L., & Nicol, D. M. (2010). *Discrete-event system simulation* (5th ed.). Pearson.
- Chase, R. B., Jacobs, F. R., & Aquilano, N. J. (2009). *Administración de operaciones: Producción y cadena de suministros* (12.^a ed.). McGraw-Hill.
- Congreso de la República de Colombia. (2016). Ley 1819 de 2016.
- Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP). (2023). CSCMP supply chain management definitions. <https://cscmp.org>
- Ellen MacArthur Foundation. (2013). *Towards the circular economy: Economic and business rationale for an accelerated transition*.
- Ellen MacArthur Foundation. (2016). *The new plastics economy: Rethinking the future of plastics*.
- Ellen MacArthur Foundation. (2019). *Completing the picture: How the circular economy tackles climate change*.
- Gutiérrez, H. (2014). *Calidad y productividad*. McGraw-Hill.
- Harrington, H. J., & Voehl, F. (2022). *The innovation tools handbook: Organizational and operational tools, methods, and techniques*. Productivity Press.
- International Organization for Standardization (ISO). (2015). *ISO 9001:2015 Quality management systems—Requirements*.
- International Organization for Standardization (ISO). (2018). *ISO 14001:2018 Environmental management systems—Requirements with guidance for use*.
- Kumar, S., & Chandrakar, R. (2022). Reverse logistics and circular economy in supply chains: A review. *Materials Today: Proceedings*, 49, 1975–1980.
- Law, A. M. (2015). *Simulation modeling and analysis* (5th ed.). McGraw-Hill.

- Liker, J. K., & Franz, J. K. (2021). *The Toyota way to continuous improvement: Linking strategy and operational excellence to achieve superior performance*. McGraw-Hill.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). *Política nacional para la gestión integral de residuos sólidos*. Colombia.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2022). *Gestión integral de residuos sólidos industriales*. Colombia.
- Montgomery, D. C. (2013). *Introducción al control estadístico de la calidad* (7.^a ed.). Wiley.
- Naciones Unidas. (2015). *Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)*.
- Niebel, B. W., & Freivalds, A. (2003). *Ingeniería industrial: Métodos, estándares y diseño del trabajo* (11.^a ed.). McGraw-Hill.
- Richards, G. (2021). *Warehouse management: A complete guide to improving efficiency and minimizing costs in the modern warehouse* (4th ed.). Kogan Page.
- Rogers, D. S., & Tibben-Lembke, R. (1998). *Going backwards: Reverse logistics trends and practices*. Reverse Logistics Executive Council.
- Sarkis, J. (2012). A boundaries and flows perspective of green supply chain management. *Supply Chain Management: An International Journal*, 17(2), 202–216.
- Tompkins, J. A., White, J. A., Bozer, Y. A., & Tanchoco, J. M. A. (2010). *Facilities planning* (4th ed.). Wiley.
- United Nations Environment Programme (UNEP). (2020). *Single-use plastics: A roadmap for sustainability*.
- United Nations Environment Programme (UNEP). (2021). *From pollution to solution: A global assessment of marine litter and plastic pollution*.
- World Economic Forum. (2023). *Global risks report 2023*. <https://www.weforum.org>