

**Cambio y optimización del material de empaque para el transporte de envases metálicos a nivel nacional para GREIF Colombia S.A.S.**

Luis Francisco Valdivieso Sánchez

Director

Leonardo Favio Bravo Guaqueta

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería – ECBTI

Tecnología en Logística Industrial

2025

## Resumen

El presente proyecto se centra en la modificación y estandarización de los materiales que cumplen una función dual de empaque secundario y terciario, esenciales para la protección y unitarización de envases metálicos de 208 litros producidos por GREIF Colombia S.A.S. La iniciativa responde a la recurrencia de no conformidades (NC) de producto, originadas por la pérdida de integridad estructural y estabilidad dimensional de la carga durante el transporte terrestre nacional. Se ha identificado que la insuficiencia del material de separación (cartón) y del sistema de aseguramiento (flejado y dunnage) no mitiga adecuadamente las fuerzas dinámicas (vibración y aceleración) características de las rutas logísticas. La metodología implementada incluye un diagnóstico exhaustivo de la resistencia del unitario y la validación técnica de un nuevo esquema de empaque diseñado para incrementar la resistencia al corte y la compactación de la carga. El objetivo estratégico es implementar un protocolo de empaque optimizado que garantice la estabilidad bajo condiciones reales de tránsito y logre una reducción sustancial en la tasa de daño en ruta. La ejecución valida la aplicación de principios de ingeniería de empaque para la minimización del riesgo operativo en la cadena de suministro.

***Palabras clave:*** Empaque Dual (Secundario/Terciario), Unitarización, Integridad de Carga, Dinámica de Transporte, Ingeniería de Empaque, No Conformidad.

## Abstract

This project focuses on the modification and standardization of materials serving a dual function of secondary and tertiary packaging, which are essential for the protection and unitization of 208-liter metallic containers manufactured by GREIF Colombia S.A.S. The initiative is a direct response to a recurring high incidence of product non-conformities (NCs), primarily caused by the loss of structural integrity and dimensional stability of the cargo during domestic road transport. It has been identified that the current system—specifically the inadequacy of separation material (cardboard) and the securing system (dunnage and strapping)—fails to effectively mitigate the dynamic forces (vibration and acceleration) inherent to the logistics routes. The implemented methodology involves a comprehensive diagnostic of the unit load resistance and the subsequent technical validation of a new packaging scheme engineered to enhance shear strength and load compaction. The strategic objective is to deploy an optimized packaging protocol that guarantees stability under actual transit conditions, aiming for a substantial reduction in the in-transit damage rate. This execution validates the application of packaging engineering principles as a key strategy for minimizing operational risk within the supply chain.

**Keywords:** Dual Packaging (Secondary/Tertiary), Unitization, Cargo Integrity, Transport Dynamics, Packaging Engineering, Non-Conformity.

## Tabla de Contenido

Introducción .....	13
Planteamiento del Problema .....	15
Objetivos .....	17
Justificación .....	18
Marco Conceptual y Teórico .....	20
Embalaje .....	20
Materiales para Embalaje .....	20
El Cartón .....	22
<i>Propiedades del Cartón</i> .....	22
Responsabilidad Social Empresarial .....	23
Sustentabilidad Ambiental .....	23
Distribución de Mercancías .....	23
Factores Ambientales en el Transporte en Colombia .....	24
Metodología .....	27
Planeación y Análisis de Materiales de Empaque .....	27
Diseño y Desarrollo de Prototipos de Embalaje .....	27
Pruebas Experimentales y Ensayos de Validación .....	27
Métodos de Recolección y Análisis de Datos .....	27

Evaluación Económica y Viabilidad del Prototipo Final .....	28
Conclusiones y Recomendaciones para la Implementación .....	28
Diagnóstico de la Situación Actual de Empaque y Embalaje de los Envases Metálicos en GREIF Colombia S.A.S. ....	29
Descripción del Esquema de Unitarización Actual (AS-IS) .....	29
<i>Método de Carga</i> .....	29
<i>Riesgo Dominante</i> .....	29
<i>Material de Acondicionamiento</i> .....	29
Cuantificación y Análisis del Impacto Logístico .....	29
<i>Tasa de Daño en Tránsito (TDT)</i> .....	30
<i>Impacto Financiero Anual</i> .....	30
Análisis Técnico de la Falla del Material Actual (Cartón).....	30
<i>Fallo por Abrasión y Punzonamiento</i> .....	30
<i>Incapacidad de Amortiguación de Choque</i> .....	30
<i>Vulnerabilidad a la Humedad</i> .....	31
Transición al Análisis de Soluciones de Acondicionamiento.....	31
Identificación de Materiales Viables para la Solución del Problema.....	32
Requerimientos Funcionales del Material.....	32
<i>Protección Superficial contra Abrasión y Rayones</i> .....	32
<i>Comportamiento Adecuado ante la Humedad o Cambios de Temperatura</i> .....	32

<i>Facilidad de Instalación y Retiro durante el Proceso Logístico</i> .....	32
<i>Compatibilidad con el Sistema de Transporte y Almacenamiento Actual</i> .....	32
<i>Posibilidad de Reutilización o Reciclaje</i> .....	33
<i>Disponibilidad en el Mercado Local y Costos Competitivos</i> .....	33
Alternativas Preliminares Identificadas .....	33
Criterios Preliminares de Selección .....	34
<i>Funda Textil de Polipropileno</i> .....	35
<i>Polietileno Expandido</i> .....	36
Desarrollo de las Pruebas Piloto con los Materiales Viables .....	37
Diseño y Desarrollo de Prototipos de Acondicionamiento .....	37
<i>Prototipo A: Acondicionamiento con Funda Textil de Polipropileno (PP)</i> .....	37
Función Principal .....	37
Diseño de la Solución. ....	37
Ventaja Logística.....	38
<i>Prototipo B: Acondicionamiento con Polietileno Expandido (EPE)</i> .....	38
Función Principal .....	38
Diseño de la Solución. ....	38
Ventaja Logística.....	39
Componentes Críticos del Ensayo de Validación.....	39
<i>Grupo de Control (Línea Base para la Comparación)</i> .....	39

Cuantificar la Línea Base.....	40
Medición del ROI. ....	40
<i>Objetivo Común de Mitigación del Riesgo</i> .....	40
Pruebas Experimentales y Ensayo de Validación.....	40
<i>Configuración Experimental y Muestra</i> .....	40
Lotes de Prueba.....	40
Tamaño de la Muestra.....	40
Variable Independiente.....	40
Variable Dependiente.....	40
<i>Protocolo de Ensayo en Ruta</i> .....	41
Ruta de Validación.....	41
Condición de Carga.....	41
Análisis de Resultados Post-Tránsito y Cuantificación del Fallo .....	43
<i>Resultados del Lote Control (Cartón Corrugado)</i> .....	43
Observación Post-Tránsito y Modo de Falla.....	43
Conclusión.....	43
<i>Resultados del Prototipo A (Funda Textil de Polipropileno - PP)</i> .....	43
Observación Post-Tránsito y Modo de Falla.....	43
Conclusión.....	43
<i>Resultados del Prototipo B (Polietileno Expandido - EPE)</i> .....	43

Observación Post-Tránsito y Modo de Falla.....	43
Conclusión. ....	44
Redefinición del Prototipo Final: Solución Híbrida (Prototipo H) .....	44
<i>Nuevo Objetivo de Diseño</i> .....	44
<i>Prototipo H - Forro Compuesto (PP + EPE)</i> .....	44
Validación Experimental de la Solución Híbrida.....	46
Diseño y Especificaciones Técnicas del Prototipo Híbrido (Prototipo H).....	46
<i>Configuración de Doble Capa</i> .....	47
Capa Externa (Contenedor Estructural). ....	47
Capa Interna (Elemento Amortiguador).....	47
<i>Especificaciones Técnicas e Integración de Componentes</i> .....	47
<i>Innovación en Eficiencia Operacional</i> .....	48
Reiteración de Pruebas Experimentales y Ensayo de Validación.....	49
<i>Configuración Experimental y Muestra</i> .....	49
Lotes de Prueba.....	49
Tamaño de la Muestra. ....	50
Variable Independiente.....	50
Variable Dependiente. ....	50
<i>Protocolo de Ensayo en Ruta</i> .....	50
Ruta de Validación. ....	50

Condición de Carga.....	51
Análisis de Resultados Post-Tránsito y Cuantificación del Fallo .....	51
<i>Resultados del Lote Control (Cartón Corrugado)</i> .....	51
<i>Resultados del Prototipo H (Híbrido)</i> .....	51
Ausencia de Daño Estructural y Fallo Logístico. ....	51
Integridad de Componentes. ....	52
Cuantificación del Éxito. ....	52
Conclusión Final de la Validación.....	52
Análisis, Beneficios y Costos en la Utilización del Nuevo Material .....	53
Análisis Técnico-Económico del Prototipo Híbrido H .....	53
Análisis de Costos Implicados y Retorno de la Inversión.....	53
<i>Estructura de Costos del Empaque Unitario</i> .....	53
Impacto Económico por Reducción de Pérdidas.....	54
<i>Estimación del Ahorro Anual Proyectado (AAP) por Reducción de Costos de Reclamación</i> .....	54
Costo Histórico Anual del Daño – Cartón Corrugado. ....	54
Costo Proyectado Anual del Daño – Prototipo H. ....	54
<i>Análisis de Vida Útil y Costo por Uso (CPU)</i> .....	55
<i>Cálculo Final</i> .....	56
Beneficios Operacionales y Estratégicos .....	56

	10
<i>Solución Integral al Problema de Origen</i> .....	56
<i>Refuerzo de la Imagen de Marca</i> .....	56
<i>Eficiencia y Sostenibilidad</i> .....	56
<i>Estandarización de Calidad</i> .....	56
Conclusiones .....	57
Recomendaciones .....	59
Implementación Inmediata del Prototipo Híbrido H.....	59
<i>Formalización de la Estandarización</i> .....	59
<i>Adquisición</i> .....	59
<i>Medición Post-Implementación</i> .....	59
Gestión de Vida Útil y Reutilización (Gestión Logística Inversa).....	59
<i>Trazabilidad y Retorno</i> .....	60
<i>Inspección y Mantenimiento</i> .....	60
Exploración de Oportunidades de Aplicación y Escalabilidad .....	60
<i>Transferencia de Diseño</i> .....	60
Referencias Bibliográficas .....	61

## Lista de Tablas

<b>Tabla 1</b> <i>Materiales utilizados en los empaques y embalajes</i> .....	21
<b>Tabla 2</b> <i>Materiales alternativos para el empaque</i> .....	34
<b>Tabla 3</b> <i>Identificación de materiales de empaque para prueba de campo</i> .....	45
<b>Tabla 4</b> <i>Composición y función mecánica de los componentes del prototipo H</i> .....	47
<b>Tabla 5</b> <i>Análisis funcional y neutralización de riesgos del prototipo H</i> .....	53
<b>Tabla 6</b> <i>Comparación de costo de material de empaque unitario CMEU</i> .....	54
<b>Tabla 7</b> <i>Comparación de vida útil y cálculo de Costo por Uso CPU</i> .....	55

## Lista de Figuras

<b>Figura 1</b>	<i>Estructura del cartón corrugado</i> .....	22
<b>Figura 2</b>	<i>Funda textil de polipropileno</i> .....	35
<b>Figura 3</b>	<i>Polietileno expandido</i> .....	36
<b>Figura 4</b>	<i>Prototipo de empaque con funda textil de polipropileno (PP)</i> .....	38
<b>Figura 5</b>	<i>Prototipo de empaque con polietileno expandido (EPE)</i> .....	39
<b>Figura 6</b>	<i>Lote Control cargado en la unidad de transporte</i> .....	41
<b>Figura 7</b>	<i>Lote A-PP (funda textil de polipropileno) cargado en la unidad de transporte</i> .....	42
<b>Figura 8</b>	<i>Lote B-EPE (polietileno expandido) cargado en la unidad de transporte</i> .....	42
<b>Figura 9</b>	<i>Prototipos de empaque desarrollados</i> .....	46
<b>Figura 10</b>	<i>Prototipo de empaque híbrido</i> .....	48
<b>Figura 11</b>	<i>Cintas elásticas planas en prototipo H</i> .....	49
<b>Figura 12</b>	<i>Lote H-Híbrido cargado en la unidad de transporte</i> .....	50

## Introducción

La gestión de la cadena de suministro en el ámbito industrial requiere una dedicación meticulosa a la protección de la mercancía en tránsito, siendo este un factor determinante para la eficiencia operativa y la preservación de la calidad en destino. Para GREIF Colombia S.A.S., principal fabricante de envases metálicos de 208 litros, es imperativo que el producto conserve su integridad estructural y dimensional durante toda la fase de distribución nacional. El transporte terrestre es reconocido como el segmento de mayor vulnerabilidad logística, ya que somete a las unidades de carga a fuerzas dinámicas complejas —principalmente vibración, choques verticales y aceleración horizontal— que desafían la estabilidad del unitario paletizado.

El sistema de empaque actualmente implementado, el cual cumple una función dual (secundario y terciario), ha demostrado ser deficiente para soportar las exigencias de estas condiciones de tránsito. Específicamente, el material de separación utilizado y el esquema de aseguramiento de la carga carecen de la resistencia a la compresión dinámica y la capacidad de sujeción (cizallamiento) requeridas. Esta deficiencia resulta en una recurrente pérdida de estabilidad dimensional de la carga durante el movimiento, lo que conduce a la colisión entre envases y, consecuentemente, a deformaciones, abolladuras y fallas de hermeticidad en el producto.

Esta ineficacia del sistema de empaque se manifiesta directamente en un elevado índice de No Conformidades (NC) por daños en destino, lo cual impacta negativamente en la calidad percibida y desencadena procesos de logística inversa. La recurrencia de estos eventos establece una problemática operativa crítica que requiere una intervención técnica inmediata y profunda, orientada a la gestión proactiva del riesgo a través de la ingeniería de empaque. La naturaleza de

este problema exige una solución que garantice la resiliencia de la carga unitaria y optimice la relación entre costo del empaque y costo total de calidad.

Desde una perspectiva académica y profesional, este proyecto es un ejercicio práctico de la Tecnología en Logística Industrial, ofreciendo una aplicación directa de los principios de análisis de materiales, diseño estructural de embalajes y evaluación costo-beneficio de soluciones logísticas. Se busca validar la sustitución del esquema de empaque actual por uno que ofrezca una protección superior bajo las condiciones dinámicas del transporte, contribuyendo así a la sostenibilidad corporativa mediante la reducción del desperdicio de producto dañado.

## Planteamiento del Problema

GREIF COLOMBIA S.A.S., parte de GREIF, un proveedor líder en embalaje industrial con presencia en más de 30 países y más de 200 ubicaciones (Greif, 2025), ha visto un notable crecimiento en la distribución de sus productos a nivel nacional; sin embargo, este crecimiento ha traído consigo desafíos en cuanto a la calidad y durabilidad del empaque utilizado para el transporte de envases metálicos.

En los últimos dos (2) años, se han recibido numerosos reportes negativos de clientes debido a daños o defectos en los productos al momento de la entrega; tras un análisis exhaustivo de los datos e información obtenidos por el departamento de calidad de GREIF y suministrados por los clientes acerca de esas inconformidades, se identificó que estos problemas no están relacionados con la fabricación del producto, sino con el material de empaque utilizado en su embalaje y distribución.

El sistema de embalaje actual no ofrece la resistencia necesaria para asegurar que los envases metálicos lleguen a su destino en perfectas condiciones, lo que genera costos adicionales por reposición, insatisfacción en los clientes y un impacto negativo en la reputación de la empresa.

Frente a esta situación, es crucial encontrar alternativas de embalaje más eficientes y sostenibles que garanticen la protección del producto durante todo el proceso de distribución y para lograrlo, se propone investigar y evaluar nuevas opciones de empaque, optimizar los procesos logísticos y establecer mecanismos de monitoreo que aseguren su efectividad.

En este contexto, surge la siguiente pregunta problemática: ¿Qué tipo de material de empaque permitirá optimizar el proceso de distribución de envases metálicos, garantizando la

calidad del producto y reduciendo los efectos de los daños durante el transporte, de tal manera que permita mejorar el nivel de satisfacción en los clientes de GREIF COLOMBIA S.A.S.?

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Identificar el material de embalaje más adecuado para el transporte de envases metálicos de GREIF COLOMBIA S A S.

### **Objetivos Específicos**

Realizar el diagnóstico de la situación actual de empaque y embalaje de los envases metálicos.

Identificar nuevos materiales que sean viables para utilizar en el embalaje y transporte de los envases.

Realizar las pruebas piloto del nuevo material de empaque propuesto que permitan evaluar su desempeño.

Analizar los costos y beneficios que puede generar para GREIF COLOMBIA S A S. la utilización de este nuevo material de embalaje.

## **Justificación**

La investigación tiene como objetivo cambiar y optimizar el embalaje de los envases metálicos distribuidos a nivel nacional, en respuesta a las constantes reclamaciones por daños en los productos durante el transporte, reportados por los clientes de GREIF Colombia S.A.S.

Durante el último año, se tienen los registros de una media de dos (2) reclamaciones mensuales, lo que se traduce en un 20% de media de las remisiones. Este tipo de reclamaciones han tenido costos relacionados a los doscientos ochenta y cinco millones de pesos anuales (\$285.000.000) atribuibles a reposición de productos, al transporte de otros productos, y a compensaciones a los clientes.

En este momento, el cartón es el producto que compone la base del embalaje, pero los resultados sobre la resistencia y la protección no han sido los adecuados y, por tanto, ha originado pérdidas monetarias y perjuicios en la satisfacción de los clientes.

Desde una perspectiva académica y práctica, este proyecto hace una gran aportación al campo de la logística industrial al aplicar principios de optimización en la gestión de embalajes; esto no solo ayuda a desarrollar soluciones más eficientes para la distribución de productos, sino que también integra conocimientos sobre materiales, resistencia estructural y costos operativos; aspectos esenciales para formar un tecnólogo en logística industrial. Desde un enfoque social, mejorar el embalaje significa menos productos dañados y, por lo tanto, menos desperdicios; lo cual es un avance positivo en términos de sostenibilidad y en la satisfacción del cliente. Por último, a nivel personal, este trabajo es una oportunidad valiosa para pulir habilidades en análisis de procesos logísticos, toma de decisiones estratégicas y aplicación de metodologías de mejora continua, todas competencias clave para avanzar profesionalmente en este sector.

Por lo tanto, este trabajo es relevante para identificar y sustituir el material de embalaje actual por uno más eficiente, que garantice una mejor protección de los envases metálicos durante el transporte y reduzca los daños. Con ello, se busca minimizar los costos operativos asociados a reclamaciones, garantías y reposiciones, optimizando así el proceso de distribución.

## Marco Conceptual y Teórico

### Embalaje

El embalaje es la forma de preparar la carga de manera adecuada para su transporte hacia un destino específico (Cámara de comercio de Bogotá, 2019); también se entiende como cualquier medio material destinado a proteger y consolidar una mercancía para su expedición y/o su conservación en depósitos (Chala, 2010).

Además de su función protectora, el embalaje desempeña un papel crucial en la logística y la cadena de suministro, facilitando la manipulación, el almacenamiento y la identificación de los productos durante su traslado. Un embalaje bien diseñado puede reducir costos operativos, minimizar pérdidas por daño y contribuir a la sostenibilidad mediante el uso de materiales reciclables o reutilizables (Instituto Nacional de Tecnología Industrial, 2012).

### Materiales para Embalaje

La elección del material de embalaje es una decisión estratégica que impacta directamente la integridad del producto, la eficiencia logística y la sostenibilidad operativa de una empresa. En el contexto de la logística industrial y el transporte de bienes manufacturados, la selección se basa en un equilibrio multifactorial que considera las propiedades mecánicas — específicamente la resistencia a la compresión, tensión, impacto y vibración (estrés dinámico)— y, de manera creciente, la viabilidad de reciclaje y la gestión bajo el paradigma de economía circular (Costa Resnitzky et al., 2021). Este enfoque obliga a las organizaciones a trascender la gestión de residuos tradicional, integrando criterios de eficiencia de recursos desde la fase de diseño. Cada material, ya sea plástico, madera o cartón, posee un perfil único de características que lo hacen idóneo para aplicaciones específicas, pero también presenta limitaciones inherentes que deben ser rigurosamente evaluadas para mitigar riesgos en la cadena de suministro. La

identificación del material óptimo para la protección dual (secundaria y terciaria) de envases de gran volumen requiere un entendimiento fundamental de las prestaciones y deficiencias de las principales opciones disponibles en el mercado. A continuación, la Tabla 1 ofrece una visión general de los materiales más comúnmente empleados en el sector del empaque y embalaje, destacando sus atributos principales, aplicaciones típicas, ventajas competitivas y desventajas operativas.

**Tabla 1**

*Materiales utilizados en los empaques y embalajes*

Materiales	Tipo	Ejemplo	Ventajas	Desventajas
Metales	Lamina de aluminio y acero recubierto de estaño, etc.	Toneles, bidones, contenedores, recipientes bajo presión, cajas metálicas.	Sólidos, fácil estibado, reutilizables.	Costo elevado, corrosión, difícil eliminación, pesado, voluminoso.
Madera	Madera en bruto, descortezada, cepillada, contrachapada, aglomerada.	Cajas, pallet, canastas, guacales.	Fácil de manipular y estibar.	Altos costos, sensible al sol y la humedad, fácil descomposición, contaminable, sensible a plagas, voluminoso, pesado, inflamable.
Cartón	Sólido, ondulado, corrugado, gris, couche, fibra, cartoncillo.	Diversas cajas de cartones.	Económico, reciclable, degradable, fácil manipulación.	Muy frágil, sensible a la humedad y al calor, poco sólido, no reutilizable.
Plástico	Poliestireno, poliestireno anti calórico, espuma de poliestireno expandido, poliestireno antichoque, policarbonato, policloruro de vinilo, poliuretano, polietileno HD, polietileno LD, polipropileno, polietileno tereftalato.	Bolsas, toneles, bidones, cajas, contenedores semirrígidos y rígidos, botellas, garrafas.	Impermeabilidad, gran diversidad, fácil manipulación.	Inflamable, costoso, eliminación difícil.
Papel		Bolsas.	Bajos costos, fácil eliminación, reciclable.	Muy frágil, sensible a la humedad y al calor.
Vidrio		Botellas, frascos, botellones.	Visibilidad del contenido, estibado fácil, reciclable, eliminación fácil.	Frágil a los golpes, pesado y voluminoso.

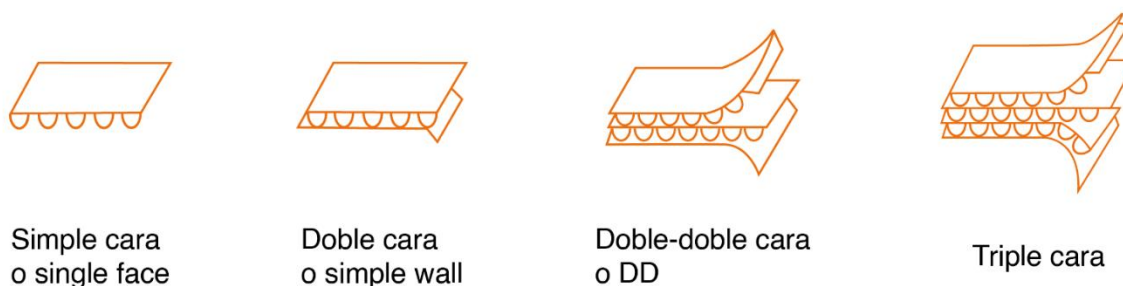
*Fuente.* (Salguero, Sergio Iván & Gutiérrez, 2019)

## El Cartón

Según (ASIMAG S.L., 2007) el cartón es un material utilizado principalmente para fabricar envases y a partir de la aplicación de la teoría de la resistencia de los materiales. Está constituido por la unión de hojas lisas y onduladas que mantienen una distancia equivalente y ayudan crear en el cartón la propiedad de indeformabilidad.

### Figura 1

*Estructura del cartón corrugado*



*Fuente.* (Embalajes Capsa S.L., 2023)

### ***Propiedades del Cartón***

- Material primas naturales: constituido por fibra virgen o papel reciclado.
- Reciclable: puede ser reutilizado y revalorizado a partir de procesos de reciclado.
- Biodegradable: su proceso de degradación es de tres meses a un año.
- Sostenibilidad: es un material sostenible que extiende la vida útil de las materias primas y, por ende, reduce el impacto ambiental.
- Ligereza y resistencia: los diseños en cartón son ligeros, pero soportan cargas de peso considerables sin arriesgar la integridad de su contenido.
- Versatilidad y ergonomía: es un material que puede adaptarse fácilmente a diferentes formatos y tamaños.

- Apilado: ofrece una gran resistencia al apilado y ayuda a procesos de transporte y almacenamiento (Atabal, 2020).

### **Responsabilidad Social Empresarial**

La RSE está en tendencia a nivel industrial dado que es el compromiso permanente de las empresas de generar un impacto realmente positivo en la sociedad a parte de solo rentabilidad por beneficios financieros; Esta responsabilidad no hacer referencia al comportamiento de los integrantes de una organización si no al hecho de crear una cultura para producir un desarrollo económico y mejorar la calidad de vida de todos los actores del proceso industrial (Henríquez Larrarte & Oreste Burgos, 2015).

### **Sustentabilidad Ambiental**

Está definida como la condición de coexistencia armónica de la sociedad y en el ambiente donde se satisfacen las necesidades actuales sin comprometer las condiciones de las futuras generaciones (Salcido, 2017). Dada esta condición, se hace necesario desde Greif establecer protocolos que ayuden a mejorar los procesos asociados a elementos que puedan afectar el ambiente y a la sociedad.

En la actualidad, el uso del cartón como materia prima de embalaje presenta altos volúmenes de uso y, por esto, el proyecto no solo está orientado a mitigar la afectación económica de la empresa si no a tener concepto correcto de desarrollo sustentable.

### **Distribución de Mercancías**

La distribución de mercancías terrestre a nivel nacional se refiere al transporte de bienes y productos desde un punto de origen hasta los diferentes puntos de destino esto se realiza a través de carreteras y autopistas. Este tipo de distribución es un componente clave de la cadena de

suministro y es esencial para satisfacer las demandas de los consumidores y clientes para el buen funcionamiento de la economía global (García Urrea & Mendoza Diaz, 2018).

En la distribución de mercancías terrestre, se utilizan diversos medios de transporte, como camiones, autobuses y tractomulas. Cada medio de transporte tiene sus propias fortalezas y debilidades en términos de costos, capacidad de carga, la selección del medio de transporte adecuado para una entrega específica depende de una serie de factores, como el tamaño y el peso de la carga, la distancia a recorrer y la urgencia de la entrega.

Sin embargo, la distribución de mercancías terrestre también puede tener impactos negativos en el medio ambiente, como la emisión de gases de efecto invernadero y la contaminación del aire y del agua. Además, el tráfico pesado en las carreteras puede causar congestión y retrasos y deterior en las vías, lo que aumenta el tiempo de entrega y el costo de la distribución (Sabater Martínez, 2020).

Por lo tanto, es importante que se adopten medidas para minimizar los impactos negativos de la distribución de mercancías terrestre en el medio ambiente. Esto puede incluir la optimización de las rutas, la utilización de vehículos más eficientes en términos de combustible, la adopción de tecnologías avanzadas de seguimiento y monitoreo de flotas. Al hacerlo, se puede garantizar una distribución eficiente y sostenible de mercancías.

### **Factores Ambientales en el Transporte en Colombia**

Colombia, debido a su ubicación geográfica y diversidad de ecosistemas, enfrenta una serie de factores ambientales que influyen significativamente en el transporte de mercancías a nivel nacional. Las condiciones climáticas variables y los diferentes tipos de terrenos afectan la planificación y operación logística, impactando la eficiencia y seguridad en la distribución de productos.

El país presenta seis tipos principales de clima: tropical, intertropical, seco, desértico, templado y frío. Estas variaciones climáticas influyen en la infraestructura vial y en el estado de las rutas de transporte, afectando aspectos como la visibilidad, la adherencia del pavimento y el desgaste de los materiales utilizados en embalajes y vehículos de carga (Instituto de Hidrología & Universidad Nacional de Colombia - UNAL, 2018).

En los últimos años, el cambio climático ha incrementado la frecuencia e intensidad de fenómenos extremos como sequías, inundaciones y tormentas tropicales. Estos eventos pueden ocasionar bloqueos en carreteras, daños en puentes y deslizamientos de tierra, interrumpiendo las cadenas de suministro y generando sobrecostos en la logística. Además, la variabilidad en la temperatura y humedad puede comprometer la integridad de los materiales de embalaje, afectando la protección de productos sensibles al clima, como los envases metálicos (Forero & González, 2020).

Además de las condiciones climáticas, la topografía de Colombia presenta desafíos significativos para la logística de transporte. La presencia de tres cordilleras que atraviesan el país genera terrenos montañosos y valles profundos, lo que dificulta la construcción y mantenimiento de infraestructuras viales. Esta compleja orografía limita la velocidad y capacidad de carga de los vehículos, incrementa los costos operativos y prolonga los tiempos de entrega. Proyectos como el Túnel de la Línea, desarrollado como parte del Cruce de la Cordillera Central, han sido diseñados para mejorar la conectividad entre regiones y reducir las dificultades impuestas por la geografía (Instituto Nacional de Vías - INVIAS, 2023).

Para mitigar estos impactos, es necesario fortalecer la infraestructura vial, implementar sistemas de monitoreo climático en la logística de transporte y desarrollar embalajes más resistentes a las condiciones ambientales adversas. Estas estrategias pueden contribuir a mejorar

la eficiencia del transporte en Colombia, reduciendo costos operativos y garantizando una mayor protección de las mercancías en tránsito (Lau et al., 2013).

## **Metodología**

Se desarrolla este proyecto de manera experimental y analítica, estructurado en las siguientes etapas:

### **Planeación y Análisis de Materiales de Empaque**

Se investigarán los diferentes materiales de empaque que se están utilizando en GREIF a nivel mundial. La idea es identificar cuáles pueden mejorar la protección de los envases metálicos durante el transporte. Para esto, se utilizarán técnicas de revisión documental y consultas a expertos en logística y embalaje.

### **Diseño y Desarrollo de Prototipos de Embalaje**

Con toda la información recopilada, se diseñarán dos prototipos de embalaje, buscando materiales alternativos que mejoren la resistencia y seguridad en el transporte de los envases metálicos.

### **Pruebas Experimentales y Ensayos de Validación**

Los prototipos serán probados mediante el envío de un lote de 20 unidades por referencia en un recorrido de 420 kilómetros. Se evaluarán factores como la resistencia estructural, absorción los impactos y la estabilidad de la carga.

### **Métodos de Recolección y Análisis de Datos**

Se recopilarán datos sobre los daños en los envases transportados con el método tradicional y los nuevos prototipos. Se aplicarán técnicas estadísticas para analizar los resultados y determinar la efectividad de cada alternativa.

### **Evaluación Económica y Viabilidad del Prototipo Final**

Se compararán los costos de producción y la implementación de los nuevos materiales contra el embalaje que se usa actualmente, buscando la mejor opción en términos de costo-beneficio para la empresa.

### **Conclusiones y Recomendaciones para la Implementación**

Con base en los resultados de las pruebas, se darán recomendaciones sobre cómo adoptar el nuevo embalaje, considerando su impacto en la reducción de reclamaciones, costos logísticos y la satisfacción del cliente.

## **Diagnóstico de la Situación Actual de Empaque y Embalaje de los Envases Metálicos en GREIF Colombia S.A.S.**

### **Descripción del Esquema de Unitarización Actual (AS-IS)**

El objetivo de esta fase de diagnóstico es establecer las especificaciones del sistema de empaque actualmente utilizado para los envases metálicos de 208 litros, asumiendo un modelo de carga a granel (Bulk Loading).

#### ***Método de Carga***

Los bidones metálicos son cargados directamente sobre el piso del camión (o furgón) en múltiples filas y capas. No existe una unitarización rígida mediante estibas o pallets.

#### ***Riesgo Dominante***

El principal riesgo es el movimiento libre (slack) del cargamento y el choque interunitario (bidón contra bidón) y lateral (bidón contra pared del camión) provocado por las fuerzas dinámicas de aceleración, frenado y curvas inherentes al transporte terrestre.

#### ***Material de Acondicionamiento***

El cartón corrugado (de función dual secundaria/terciaria) se utiliza exclusivamente como material de separación o dunnage, colocado entre los bidones o entre las filas, con el fin de prevenir el contacto metálico directo y absorber pequeñas vibraciones.

Este sistema se diseñó para maximizar el cubicaje del vehículo (aprovechamiento de espacio) pero ha fallado en ofrecer un trincaje y una amortiguación de impacto adecuados, haciendo que el cartón se vuelva ineficaz (Instituto Cefa, s/f).

### **Cuantificación y Análisis del Impacto Logístico**

La inadecuada protección de la carga a granel se correlaciona directamente con los Indicadores Clave de Rendimiento (KPIs) de calidad, validando la criticidad del problema.

### ***Tasa de Daño en Tránsito (TDT)***

Los registros de calidad operacional confirman la recepción de una media de dos (2) reclamaciones por daños mensuales, lo que establece una Tasa de Daño en Tránsito (TDT) del:

$$TDT = 20\%$$

Esta TDT del 20% indica que uno de cada cinco despachos genera una no conformidad, lo cual se atribuye directamente a daños superficiales como abolladuras y rayones.

### ***Impacto Financiero Anual***

La gestión de estas pérdidas por daños a granel conlleva un alto costo operativo. Los costos anuales asociados a la logística inversa, la reposición de producto y las compensaciones comerciales a los clientes ascienden a doscientos ochenta y cinco millones de pesos colombianos (\$285.000.000 COP) anuales. Este monto refleja la urgente necesidad de implementar una solución de acondicionamiento interno más robusta.

### ***Análisis Técnico de la Falla del Material Actual (Cartón)***

La causa raíz de la elevada TDT en la carga a granel reside en la incapacidad del cartón corrugado para resistir el estrés mecánico del movimiento lateral y la abrasión:

#### ***Fallo por Abrasión y Punzonamiento***

El movimiento relativo entre los bidones metálicos provoca que el cartón de separación se perfora o se desintegre (falla por abrasión) debido a las aristas y el peso del metal. Una vez que el cartón falla, el contacto metal-metal es inevitable (Gómez Palacio, 2016).

#### ***Incapacidad de Amortiguación de Choque***

El cartón ofrece una resistencia mínima a la carga de impacto concentrada. Los golpes generados por el slack (movimiento interno del cargamento) no son absorbidos, transfiriendo la energía directamente a las paredes del bidón, resultando en abolladuras (Navarro Javierre, 2015).

### ***Vulnerabilidad a la Humedad***

Aunque el tambor es cerrado, el cartón es sensible a la humedad ambiente o la condensación, lo que reduce drásticamente su ya baja rigidez estructural y lo hace más propenso a deteriorarse, eliminando la función de separación.

### **Transición al Análisis de Soluciones de Acondicionamiento**

El diagnóstico es concluyente: el cartón es inadecuado para la función de separación y amortiguación de impacto en un esquema de carga a granel. La solución debe enfocarse en materiales que ofrezcan superficie de contacto suave y capacidad de absorción de energía.

## **Identificación de Materiales Viables para la Solución del Problema**

### **Requerimientos Funcionales del Material**

Para ser considerado como alternativa viable, el material debe cumplir con las siguientes condiciones:

#### ***Protección Superficial contra Abrasión y Rayones***

Mide la resistencia tribológica del material, que es su capacidad de soportar la fricción, el roce y el desgaste superficial (abrasión) y la formación de surcos o grietas (rayones) durante la manipulación y el transporte, manteniendo la integridad estética y funcional (Brostow et al., 2003).

#### ***Comportamiento Adecuado ante la Humedad o Cambios de Temperatura***

Describe la estabilidad dimensional y ambiental del material, evaluando su baja higroscopicidad (absorción de humedad) y su bajo coeficiente de expansión térmica. Esto previene la deformación, degradación o alteración de propiedades físicas bajo variaciones climáticas (Elgueta Ortega et al., 2022).

#### ***Facilidad de Instalación y Retiro durante el Proceso Logístico***

Se relaciona con la ergonomía y eficiencia operativa. El material debe permitir una manipulación sencilla, rápida y segura tanto en el montaje como en el desmontaje, minimizando los tiempos de ciclo logístico y reduciendo la necesidad de mano de obra especializada o herramientas complejas (Valbuena Amarís & Lemos, 2015).

#### ***Compatibilidad con el Sistema de Transporte y Almacenamiento Actual***

Se refiere a la integración sistémica. Las dimensiones, peso y resistencia estructural del material deben ajustarse a los estándares de estanterías, paletización (modulación), vehículos de

carga y equipos de manejo (montacargas), maximizando el volumen de ocupación y asegurando un flujo logístico fluido (Salguero. Sergio Iván & Gutiérrez, 2019).

### ***Posibilidad de Reutilización o Reciclaje***

Aborda la sostenibilidad y la economía circular. Se prioriza el uso de materiales con alta durabilidad para múltiples ciclos (reutilización) o aquellos que tienen una infraestructura de recuperación y procesamiento establecida (reciclaje) al final de su vida útil, reduciendo el impacto ambiental (Fundación para la Sostenibilidad Energética y Ambiental - Funseam, 2023) .

### ***Disponibilidad en el Mercado Local y Costos Competitivos***

Es un criterio de viabilidad económica y cadena de suministro. Evalúa la accesibilidad (proveedores locales, tiempos de entrega) y la competitividad del costo total de propiedad (costo de adquisición + costo de manejo/vida útil) en comparación con otras alternativas, asegurando la rentabilidad del proyecto (Maceda Rasmussen et al., 2023).

### **Alternativas Preliminares Identificadas**

A partir de la revisión de proveedores nacionales e internacionales y de referencias técnicas, se identifican seis posibles materiales para reemplazar el cartón (Rodríguez, s/f):

Para la identificación de alternativas viables al cartón, se llevó a cabo una revisión sistemática de referencias técnicas y bibliográficas especializadas en la ingeniería de materiales y embalaje logístico, consultando las propiedades físicas y funcionales de diversos sustitutos (Brostow et al., 2003), (Salguero. Sergio Iván & Gutiérrez, 2019). Mediante el análisis comparativo de la información documentada—respecto a los requerimientos de resistencia, estabilidad dimensional y criterios de sostenibilidad—se lograron identificar y acotar seis (6) materiales que, teóricamente, cumplen con las condiciones exigidas. La Tabla 1, que se presenta a continuación, sintetiza las características de estos materiales candidatos, detallando su

descripción, ventajas y desventajas inherentes, las cuales fueron extraídas directamente de la literatura técnica revisada (Rodríguez, s/f).

**Tabla 2**

*Materiales alternativos para el empaque*

Material	Descripción	Ventajas	Desventajas
Polipropileno corrugado (Easy Empaques, s/f)	Lámina extruida de copolímero de polipropileno de alto impacto.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impermeabilidad</li> <li>• Versatilidad</li> <li>• Reciclabilidad</li> <li>• Mayor durabilidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo inicial</li> <li>• Sostenibilidad</li> </ul>
Poliuretano expandido (Foam) (Foam Sales, 2025)	Espuma celular expandida hecha de poliuretano de baja densidad.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Protección superior contra impactos</li> <li>• Impermeabilidad</li> <li>• Flexibilidad</li> <li>• Aislamiento térmico</li> <li>• No abrasivo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo inicial</li> <li>• Impacto ambiental</li> <li>• Volumen de almacenamiento</li> </ul>
Fundas textiles de polipropileno (Somafluids, 2025)	Tejido o material no tejido fabricado a partir de fibras de polipropileno.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Protección superficial superior</li> <li>• Resistencia a la humedad</li> <li>• Flexibilidad y adaptabilidad</li> <li>• Reutilización y durabilidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falta de amortiguación</li> <li>• Costo inicial</li> <li>• Impacto ambiental</li> </ul>
Manta geotextil (Geoproyectos y Diseños Ambientales, s/f)	Materiales elaborados a base de fibras sintéticas de Polipropileno o Poliéster, las cuales se entrelazan utilizando procesos mecánicos de agujado.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Durabilidad extrema</li> <li>• Resistencia a la humedad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo inicial</li> <li>• Permeabilidad</li> <li>• Falta de amortiguación</li> <li>• Sostenibilidad</li> </ul>
Caucho reciclado en lámina (General Foams S.L., 2016)	Material antibacteriano e impermeable de celda cerrada no poroso.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Excelente amortiguación</li> <li>• Durabilidad</li> <li>• Resistencia a la humedad</li> <li>• Aislamiento térmico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo inicial</li> <li>• Falta de rigidez</li> <li>• Peso</li> <li>• Sostenibilidad</li> </ul>
Cartón tratado hidrofóbico (Grupo tkrom, 2021)	Material de base celulósica al que se le aplica un recubrimiento o un tratamiento especial para hacerlo repelente al agua.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistencia a la humedad</li> <li>• Protección del producto</li> <li>• Mejor desempeño estructural</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo inicial</li> <li>• Reciclabilidad</li> <li>• Impacto ambiental</li> </ul>

*Nota.* Esta tabla muestra la descripción, las ventajas y desventajas de los posibles materiales para reemplazar el cartón corrugado. *Fuente.* Autor

### **Criterios Preliminares de Selección**

La necesidad de identificar una alternativa surge debido a la vulnerabilidad del material actual (cartón) ante la humedad, la abrasión superficial y la baja durabilidad, lo que genera fallas en la protección y pérdidas en la cadena logística, tal como se detalla en el apartado de Justificación. Para reducir estos riesgos y avanzar en el proceso de selección, se tomó como base

la Tabla 1, que resume las características de los seis materiales candidatos identificados, y se aplicaron los siguientes criterios preliminares de selección:

- Cumplimiento de requerimientos funcionales.
- Disponibilidad local y costo aproximado.
- Impacto ambiental (reutilización/reciclaje).

El objetivo de esta fase es acotar la selección a dos (2) materiales con el mayor potencial de reemplazo, antes de realizar pruebas más rigurosas. De acuerdo con esto, las alternativas que mejor cumplen con los criterios y muestran mayor potencial de reemplazo son:

### ***Funda Textil de Polipropileno***

Alternativa ligera, reutilizable y de bajo costo, con facilidad de colocación y retiro, lo que mejora la eficiencia en la operación logística.

### **Figura 2**

*Funda textil de polipropileno*



*Fuente (Anita Plastics, 2024).*

### ***Polietileno Expandido***

Ofrece gran absorción de impactos y excelente protección superficial, reduciendo el riesgo de daños estéticos y estructurales durante el transporte.

### **Figura 3**

*Polietileno expandido*



*Fuente.* (Homecenter Sodimac Corona, 2025)

## **Desarrollo de las Pruebas Piloto con los Materiales Viables**

La presente sección marca la ejecución de la fase de validación empírica, cumpliendo con el diseño y desarrollo de prototipos y la configuración de las pruebas experimentales y ensayos de validación. El objetivo es determinar cuál de los dos materiales alternativos, en comparación con el sistema actual, ofrece la mayor reducción en la Tasa de Daño en Tránsito (TDT) de los envases metálicos vacíos cargados a granel.

### **Diseño y Desarrollo de Prototipos de Acondicionamiento**

Se diseñaron dos soluciones alternativas con el propósito común de ofrecer una protección periférica total del cuerpo cilíndrico de los envases, abordando directamente el daño por fricción, abrasión y choque lateral identificado en el diagnóstico.

#### ***Prototipo A: Acondicionamiento con Funda Textil de Polipropileno (PP)***

El prototipo A utiliza la Funda Textil de Polipropileno (PP), un material tejido de alta resistencia mecánica y excelente durabilidad, para actuar como una camisa protectora de ajuste semirrígido alrededor de cada bidón.

**Función Principal.** Protección antifricción, resistencia a la abrasión y sujeción periférica.

**Diseño de la Solución.** Se diseña una funda cilíndrica a la medida del envase de 208L. Esta funda se deslizará sobre el cuerpo del bidón, cubriendo completamente la pared lateral y el cuello del envase, pero dejando libre el fondo y la tapa para facilitar la manipulación con equipos de elevación. El tejido del PP absorbe la energía del contacto sin rasgarse, eliminando el contacto directo metal-metal y protegiendo el acabado superficial del envase vacío.

**Ventaja Logística.** La aplicación de esta funda a cada envase lo convierte en una Unidad de Despacho Protegida (UDP), simplificando la tarea de acondicionamiento dentro del camión al reducir drásticamente el uso de dunnage manual.

#### **Figura 4**

*Prototipo de empaque con funda textil de polipropileno (PP)*



*Fuente.* Autor

#### **Prototipo B: Acondicionamiento con Polietileno Expandido (EPE)**

El prototipo B incorpora el Polietileno Expandido (EPE), seleccionado por su capacidad superior para amortiguar impactos y su bajo peso. Este diseño se enfoca en la creación de una capa gruesa y envolvente que disipa la energía cinética de los golpes.

**Función Principal.** Amortiguación de choque y protección al impacto concentrado.

**Diseño de la Solución.** Se desarrolla un perfil o una lámina gruesa de 5mm de EPE que se envolverá alrededor del perímetro cilíndrico del envase, creando una capa amortiguadora antes de la carga a granel. Este envoltorio se asegurará con cinta o fleje de baja tensión. Al igual que el Prototipo A, el EPE debe cubrir toda la pared lateral y el cuello, dejando libres la tapa y el

fondo. El EPE tiene la ventaja de reaccionar elásticamente a la deformación por choque, volviendo a su forma original, garantizando una protección constante durante el viaje.

**Ventaja Logística.** El EPE proporciona el mayor nivel de protección contra las abolladuras causadas por los movimientos violentos dentro del vehículo.

### **Figura 5**

*Prototipo de empaque con polietileno expandido (EPE)*



*Fuente. Autor*

### **Componentes Críticos del Ensayo de Validación**

Para asegurar la validez interna y la capacidad de generalización de los resultados, se establecen los siguientes componentes metodológicos:

#### ***Grupo de Control (Línea Base para la Comparación)***

Se implementa un grupo de control que representa la situación actual (AS-IS). Este lote será acondicionado exclusivamente con el material de cartón corrugado que actualmente se utiliza para la separación. El grupo de control es fundamental para:

**Cuantificar la Línea Base.** Confirmar que bajo las condiciones del ensayo real (la ruta de 420 km), el daño observado valida la TDT del 20% establecida en el diagnóstico.

**Medición del ROI.** Proveer el punto de referencia para calcular el Retorno de la Inversión (ROI). El éxito del proyecto se medirá por el diferencial de daño (Daño Control - Daño Prototipo) con base en una comparación directa.

### ***Objetivo Común de Mitigación del Riesgo***

El propósito subyacente de la prueba experimental es validar una solución que cumpla con el objetivo común de reducir los daños asociados al transporte de envases vacíos a granel, atacando las siguientes fallas:

- Eliminar el contacto metal-metal para reducir la fricción y la abrasión.
- Proveer amortiguación para disipar el choque lateral y el impacto concentrado.

### **Pruebas Experimentales y Ensayo de Validación**

#### ***Configuración Experimental y Muestra***

**Lotes de Prueba.** Se preparan tres (3) lotes idénticos en número y tipo de envase: Lote C (Control), Lote A (Prototipo PP) y Lote B (Prototipo EPE).

**Tamaño de la Muestra.** Cada lote está compuesto por 20 unidades de envases metálicos (por referencia), totalizando 60 envases para el ensayo.

**Variable Independiente.** El material de acondicionamiento implementado (Cartón, PP, EPE).

**Variable Dependiente.** El nivel de daño del producto (cuantificación de abolladuras y fallas post-tránsito).

### ***Protocolo de Ensayo en Ruta***

**Ruta de Validación.** El recorrido de la prueba se estableció en 420 kilómetros. Esta ruta fue seleccionada por su historial de alta incidencia de daños y por su representatividad de las condiciones viales de mayor estrés dinámico (tramos de montaña, frenado constante, curvas).

**Condición de Carga.** Los tres lotes (Control, A y B) son cargados simultáneamente y a granel dentro de la misma unidad de transporte; esto garantiza que todos los prototipos sean expuestos a un perfil de vibración y fuerzas G idéntico durante la duración del trayecto.

### **Figura 6**

*Lote Control cargado en la unidad de transporte*



*Fuente. Autor*

**Figura 7**

*Lote A-PP (funda textil de polipropileno) cargado en la unidad de transporte*



*Fuente. Autor*

**Figura 8**

*Lote B-EPE (polietileno expandido) cargado en la unidad de transporte*



*Fuente. Autor*

## **Análisis de Resultados Post-Tránsito y Cuantificación del Fallo**

El análisis comparativo de los tres lotes arrojó resultados concluyentes sobre las debilidades y fortalezas de cada material en el entorno de la carga a granel.

### ***Resultados del Lote Control (Cartón Corrugado)***

**Observación Post-Tránsito y Modo de Falla.** Fricción y punzonamiento total. Se cuantificó un daño que valida la TDT esperada, con múltiples abolladuras y rayones visibles; este daño fue causado por el contacto directo metal-metal, confirmando que el cartón colapsa rápidamente por abrasión y no ofrece protección en la carga a granel.

**Conclusión.** El cartón continúa presentando la ineficacia diagnosticada como material de separación, confirmando la necesidad de su sustitución inmediata.

### ***Resultados del Prototipo A (Funda Textil de Polipropileno - PP)***

**Observación Post-Tránsito y Modo de Falla.** Desgarro por tensión. Aunque se observó una reducción inicial en la TDT general, varias fundas de PP se desgarraron o rasgaron en los puntos de mayor tensión y roce durante el tránsito; este desgarro comprometió la función de barrera antifricción, permitiendo el contacto metal-metal y generando daños superficiales localizados (rayones) en las unidades afectadas. El material resistió la abrasión, pero no la tensión de corte.

**Conclusión.** La protección del PP fue insuficiente para resistir el estrés mecánico lateral por sí sola; si bien su integridad estructural es superior, carece de la capacidad de amortiguación necesaria para mitigar el impacto y evitar el desgarro.

### ***Resultados del Prototipo B (Polietileno Expandido - EPE)***

**Observación Post-Tránsito y Modo de Falla.** Fallo logístico del trincaje. Las unidades que mantuvieron su protección de EPE no presentaron daños estructurales ni abolladuras, lo que

prueba la eficacia técnica total del material en la amortiguación. Sin embargo, la cinta de sostenimiento utilizada se soltó en varias unidades debido a las fuerzas dinámicas y los envases que perdieron la protección quedaron totalmente expuestos, sufriendo daños graves y concentrados al entrar en contacto directo, invalidando el rendimiento general del lote.

**Conclusión.** El EPE es la materia prima ideal para la amortiguación de choque en el proyecto, pero es inviable como solución independiente debido al fallo de sujeción del diseño de envoltorio.

### **Redefinición del Prototipo Final: Solución Híbrida (Prototipo H)**

El análisis concluyó que ni el Prototipo A ni el B, por separado, son soluciones viables para la carga a granel; la funda textil de polipropileno (PP) ofrece la integridad de armado y la resistencia a la tensión, pero carece de amortiguación mientras que el polietileno expandido (EPE) ofrece la amortiguación, pero carece de un sistema de fijación confiable.

Por lo tanto, el proyecto define un nuevo horizonte de solución a través de un diseño híbrido que capitaliza las fortalezas de ambos materiales:

#### ***Nuevo Objetivo de Diseño***

Crear un empaque de protección que combine la alta capacidad de amortiguación del EPE con la integridad estructural y la resistencia al desgarro del PP.

#### ***Prototipo H - Forro Compuesto (PP + EPE)***

- Se diseñará una funda externa de funda textil de polipropileno (PP) que actuará como el contenedor estructural y el sistema de sujeción del nuevo empaque.
- En el interior de esta funda de PP, se integrará una lámina de polietileno expandido (EPE) de 5mm de espesor.

Esta configuración ofrece un sistema de doble capa que garantiza la amortiguación de choque (EPE) y, simultáneamente, la permanencia de la protección en su lugar (PP), eliminando tanto el fallo por desgarro como el fallo por desprendimiento del embalaje.

### Tabla 3

#### *Identificación de materiales de empaque para prueba de campo*

Código	Descripción del material	Tipo
A	Funda textil de Polipropileno (PP)	Prototipo
B	Polietileno expandido (EPE)	Prototipo
C	Cartón corrugado	Material de referencia / Control
H	Híbrido (PP – EPE – Cinta elástica plana)	Prototipo híbrido

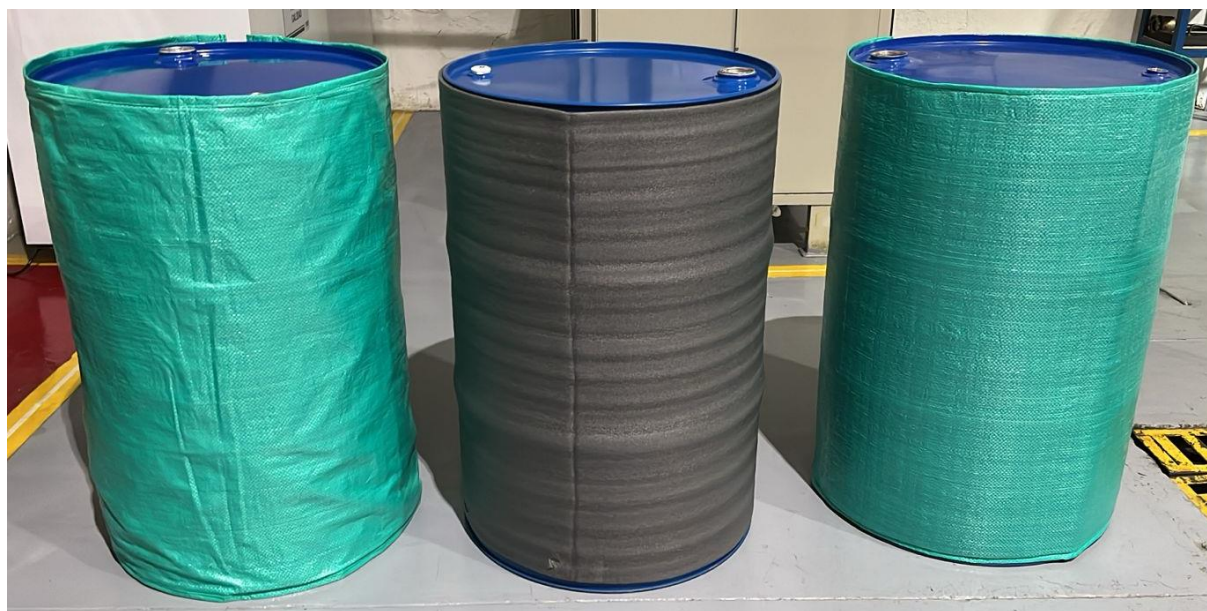
*Nota.* Esta tabla identifica los materiales evaluados en las pruebas de campo, asignando un código único que facilite su trazabilidad. *Fuente.* Autor

## Validación Experimental de la Solución Híbrida

Tras la ejecución de las pruebas piloto con los prototipos de material simple (PP y EPE) y la posterior conclusión sobre su insuficiencia individual para mitigar la Tasa de Daño en Tránsito (TDT) de los envases metálicos cargados a granel, se definió la necesidad de una solución compuesta. Por lo tanto, el objetivo de este capítulo es documentar el diseño, la fabricación y el ensayo en ruta del prototipo H (solución híbrida); esta fase busca la confirmación empírica de que la combinación de la amortiguación del polietileno expandido y la integridad estructural de la funda textil de polipropileno elimina los modos de falla observados (desprendimiento y desgarro), estableciendo la mejor opción técnica antes de proceder al análisis de costos.

### Figura 9

*Prototipos de empaque desarrollados*



*Fuente. Autor*

### Diseño y Especificaciones Técnicas del Prototipo Híbrido (Prototipo H)

El Prototipo H representa la culminación del diseño de ingeniería del proyecto, creado específicamente para resolver la dicotomía de fallas identificada en la fase piloto: la falta de

amortiguación en el Prototipo A (PP) y el fallo de sujeción en el Prototipo B (EPE). Este nuevo diseño se basa en una solución de doble capa compuesta, donde cada material asume una función mecánica especializada y complementaria.

### ***Configuración de Doble Capa***

El diseño final consiste en una estructura de "forro" o "camisa" que envuelve completamente el cuerpo cilíndrico del envase metálico, garantizando la protección periférica total requerida:

**Capa Externa (Contenedor Estructural).** Funda textil de polipropileno (PP). Esta funda actúa como el elemento de resistencia a la tensión y la abrasión; su función primaria es la sujeción estructural, asegurando que el empaque permanezca en su posición durante todo el tránsito, eliminando el fallo logístico del desprendimiento.

**Capa Interna (Elemento Amortiguador).** Lámina de polietileno expandido (EPE). Se utiliza una lámina de 5mm de espesor de EPE, integrada en el interior de la funda de PP. El EPE de esta densidad proporciona el coeficiente de amortiguación óptimo para absorber la energía cinética de los impactos laterales sin agregar peso excesivo.

### ***Especificaciones Técnicas e Integración de Componentes***

**Tabla 4**

*Composición y función mecánica de los componentes del prototipo H*

Componente	Material	Función Mecánica
Forro exterior	Funda textil de polipropileno (PP)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Resistencia a la tensión y al desgarro.</li> <li>Protección antifricción.</li> </ul>
Lámina interior	Polietileno expandido (EPE)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Disipación de energía.</li> <li>Amortiguación de choque concentrado.</li> </ul>
Sujeción adicional	Cinta elástica plana (Poliéster/Elastodieno)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Facilidad de montaje.</li> <li>Ajuste dinámico al cuello del envase.</li> </ul>

*Nota.* Esta tabla muestra el diseño de ingeniería del prototipo H. *Fuente.* Autor

La integración de la lámina de EPE dentro de la funda de PP se realiza mediante un sistema de costura perimetral o termosellado en los bordes superiores e inferiores. Este método

garantiza que la protección de EPE sea inseparable del contenedor estructural de PP, resolviendo de forma permanente el fallo de desprendimiento observado en el Prototipo B.

### **Figura 10**

*Prototipo de empaque híbrido*



*Fuente. Autor*

### ***Innovación en Eficiencia Operacional***

Para mejorar la ergonomía y la velocidad de la aplicación en la línea de empaque, se incorporó un sistema de ajuste elástico en el cuello de la funda; se cosieron cuatro cintas elásticas planas de 40mm, fabricados con una combinación de poliéster (65%) y elastodieno (35%) (Comercial Rupérez Náutica, 2021), capaces de proporcionar una tensión controlada que permite:

- Facilitar la colocación del empaque en el envase por parte del operario.
- Asegurar un ajuste firme alrededor del reborde del cuello del bidón, previniendo el deslizamiento del forro y garantizando que la amortiguación del EPE esté siempre en la posición óptima de protección.

## Figura 11

### *Cintas elásticas planas en prototipo H*



*Fuente.* Autor

El Prototipo H, con su diseño híbrido, se presenta como la solución técnica más robusta para lograr la TDT cercana al 0% en la carga a granel.

### **Reiteración de Pruebas Experimentales y Ensayo de Validación**

El objetivo de esta segunda validación es confirmar la viabilidad y rendimiento final del prototipo H bajo las condiciones de la cadena logística. Se busca asegurar que el diseño integrado (funda textil de PP, cinta elástica plana cosida y estructura interna de EPE) cumpla consistentemente con los criterios de integridad y funcionalidad definidos, utilizando la configuración final del diseño.

### ***Configuración Experimental y Muestra***

**Lotes de Prueba.** Se preparan dos (2) lotes idénticos en número y tipo de envase: Lote C (Control) y Lote H (Prototipo Híbrido).

**Tamaño de la Muestra.** Cada lote está compuesto por 20 unidades de envases metálicos (por referencia), totalizando 40 envases para el ensayo.

**Variable Independiente.** El material de acondicionamiento implementado (Cartón, Híbrido de PP-EPE).

**Variable Dependiente.** El nivel de daño del producto (cuantificación de abolladuras y fallas post-tránsito).

### ***Protocolo de Ensayo en Ruta***

El protocolo de campo se ejecutó rigurosamente bajo las condiciones ya establecidas en el primer proceso de validación de prototipos (véase la subsección Protocolo de Ensayo en Ruta).

### **Figura 12**

*Lote H-Híbrido cargado en la unidad de transporte*



*Fuente.* Autor

**Ruta de Validación.** El recorrido de la prueba fue idéntico al establecido en el protocolo inicial (420 km en condiciones de alto estrés dinámico).

**Condición de Carga.** La condición de carga se mantuvo sin cambios, cargándose los dos lotes (C y H) simultáneamente y a granel para garantizar la exposición a un perfil de vibración y fuerzas G homogéneo.

### **Análisis de Resultados Post-Tránsito y Cuantificación del Fallo**

El análisis comparativo de la prueba de campo entre el lote control (Lote C) y el prototipo híbrido H (Lote H) se realizó para medir el rendimiento de la configuración final frente al nivel de daño de referencia del entorno de carga.

#### ***Resultados del Lote Control (Cartón Corrugado)***

El lote C fue sometido a las mismas condiciones de estrés dinámico para establecer la base de daño. Como era de esperar, este lote presentó fallos estructurales totales, principalmente por fricción y punzonamiento, confirmando la ineficacia de la solución de referencia y la alta tasa de daño en tránsito (TDT) esperada para la carga a granel sin protección adecuada.

#### ***Resultados del Prototipo H (Híbrido)***

El prototipo H, que integra la funda textil de PP, la amortiguación de EPE y la cinta elástica plana de Poliéster/Elastodieno, demostró ser totalmente eficaz en la mitigación del riesgo en ruta.

**Ausencia de Daño Estructural y Fallo Logístico.** Las unidades del prototipo H no presentaron daños estructurales de ningún tipo, demostrando la efectividad del nuevo empaque. La funda textil de PP y la cinta elástica mantuvieron el acolchado de EPE firmemente adherido a los envases en todo momento, anulando totalmente el fallo logístico de trincaje identificado en el prototipo B (véase la subsección Resultados del Prototipo B (Polietileno Expandido – EPE)).

**Integridad de Componentes.** No se registró desgarró en la funda de PP ni fallo en la doble costura de seguridad de la cinta, lo que confirma que el diseño final absorbe y distribuye correctamente la tensión.

**Cuantificación del Éxito.** La protección se mantuvo activa y completa en el 100% de las unidades del Lote H durante el recorrido de 420 km, logrando la anulación casi total de las abolladuras y rayones.

### **Conclusión Final de la Validación**

El prototipo H superó exitosamente el protocolo de ensayo en ruta. La integración sinérgica del amortiguador de polietileno expandido (EPE) y el sistema de sujeción activo de la funda textil de polipropileno (PP) y la cinta elástica plana (Poliéster/Elastodieno) resuelve las debilidades logísticas de los prototipos anteriores, validando esta configuración como la solución óptima, robusta y definitiva para el embalaje del producto en la cadena de transporte a granel.

## Análisis, Beneficios y Costos en la Utilización del Nuevo Material

La validación experimental de la solución híbrida confirmó que el prototipo H (funda de PP, EPE y cinta de Poliéster/Elastodieno) es la solución óptima y robusta para mitigar el riesgo de daño en el transporte a granel. Este análisis se centra en traducir ese éxito técnico en un resultado económico favorable y en beneficios operativos sostenibles para el proyecto.

### Análisis Técnico-Económico del Prototipo Híbrido H

El éxito del prototipo H radica en la anulación efectiva de los modos de fallo identificados en la fase experimental inicial.

#### Tabla 5

##### *Análisis funcional y neutralización de riesgos del prototipo H*

Componente Clave	Modo de Falla Neutralizado	Justificación Técnica de la Integración
Polietileno Expandido (EPE)	Abolladuras por impacto y choque dinámico	Proporciona la amortiguación necesaria para la absorción de energía.
Cinta elástica plana (Poliéster/Elastodieno)	Fallo logístico de desprendimiento del protector	Garantiza la sujeción activa, manteniendo la protección fija contra las fuerzas G y la vibración.
Funda Textil de Polipropileno (PP)	Desgarro por tensión y abrasión.	Protege el EPE y distribuye la tensión de la cinta, prolongando la vida útil del sistema.

*Nota.* Esta tabla describe la función técnica de cada componente del diseño final. *Fuente.* Autor

### Análisis de Costos Implicados y Retorno de la Inversión

La implementación del prototipo H requiere una inversión mayor en la materia prima por unidad de empaque, pero este incremento se justifica plenamente por la eliminación del costo recurrente de la mercancía dañada (TDT) y la reutilización del nuevo sistema de embalaje.

#### *Estructura de Costos del Empaque Unitario*

El análisis de la estructura de costos representa el primer punto de comparación económica; si bien el prototipo H, al incorporar tres materiales especializados (PP, EPE y la cinta elástica), presenta un Costo de Material de Empaque Unitario (CMEU) superior al del cartón corrugado, este incremento se debe entender como una inversión dirigida a la mitigación total del riesgo. A través de la comparación directa de los componentes y sus costos asociados, se

calculará el Incremento en Costo Unitario (ICU), métrica fundamental que posteriormente será contrastada con el ahorro masivo generado por la anulación de las reclamaciones por daño.

**Tabla 6**

*Comparación de costo de material de empaque unitario CMEU*

Concepto	Costo Material Base por Unidad (Lote C)	Costo Prototipo Híbrido por Unidad (Lote H)
Material Base (Acondicionamiento)	\$ 8.321	\$ 20.277
Sistema de Sujeción	\$ 0.00	\$ 1.101
Costo Total por Unidad (CMEU)	\$ 8.321	\$ 21.378
Incremento en Costo Unitario (ICU)	---	+ 267%

*Nota.* Esta tabla compara el costo directo de los materiales de la solución inicial vs. la solución propuesta. *Fuente.* Autor

**Impacto Económico por Reducción de Pérdidas**

La justificación económica del prototipo H se basa en dos pilares: la reducción drástica de las pérdidas (TDT) y la rentabilidad a largo plazo gracias a la reutilización.

***Estimación del Ahorro Anual Proyectado (AAP) por Reducción de Costos de Reclamación***

Se contrastan los costos anuales de las reclamaciones atribuidas al daño en tránsito antes y después de la implementación del nuevo empaque.

**Costo Histórico Anual del Daño – Cartón Corrugado.**

- Costo Anual de Reclamaciones ( $CAR_C$ ): \$285.000.000
- Frecuencia de reclamos: 2 reclamos/mes (media del 20% de las remisiones).

**Costo Proyectado Anual del Daño – Prototipo H.**

- Frecuencia de reclamos: 1 reclamo cada 3 meses aproximadamente (4 reclamos/año).
- Reducción en la frecuencia: De 24 reclamos/año a 4 reclamos/año.
- Costo Promedio por Reclamo:

$$CPR = \frac{\text{Costo Anual de Reclamaciones}}{\text{Reclamos anuales}} = \frac{\$285.000.000}{24} = \$11.875.000$$

- Costo Proyectado Anual Prototipo H:

$$CPA_H = CPR * Reclamos Anuales = \$11.875.000 * 4 = \$47.500.000$$

- Ahorro anual proyectado:

$$AAP = CAR_C - CPA_H = \$285.000.000 - \$47.500.000 = \$237.500.000$$

La inversión en el prototipo H resulta en un Ahorro Anual Proyectado (AAP) de \$237.500.000, recuperando cualquier incremento en el Costo Unitario de Empaque (ICU) en un plazo muy corto.

### *Análisis de Vida Útil y Costo por Uso (CPU)*

La robustez del nuevo material ofrece una ventaja de costos a largo plazo que potencia el ahorro del AAP.

#### **Tabla 7**

##### *Comparación de vida útil y cálculo de Costo por Uso CPU*

Parámetro	Solución Anterior (Lote C - Cartón)	Solución Final (Lote H - Prototipo Híbrido C)
Usos Máximos del Material	2 usos	50 usos (en promedio)
Tasa de Recuperación por Viaje	50% de las unidades.	100% de las unidades (debido a su robustez y trazabilidad).
Costo por Uso (CPU)	\$ 4.160,5	\$ 427,56

*Nota.* Esta tabla presenta la justificación económica de la reutilización de material de empaque.

*Fuente.* Autor

El costo real por ciclo logístico (CPU) del prototipo H es significativamente inferior debido a su capacidad de reutilización de 50 veces aproximadamente; esto asegura que el ahorro de \$237.500.000 no se vea erosionado por la necesidad de reposición constante del material de embalaje.

### ***Cálculo Final***

El prototipo H no solo es técnicamente viable, sino que financieramente es la opción obligatoria, transformando una pérdida anual de \$285 millones, aproximadamente, en un problema logístico marginal y generando un ahorro masivo para la compañía.

### **Beneficios Operacionales y Estratégicos**

La adopción de esta configuración final ofrece beneficios que trascienden la reducción de costos directos.

### ***Solución Integral al Problema de Origen***

El diseño elimina el daño recurrente en la cadena de transporte a granel, resolviendo el problema crítico identificado al inicio del proyecto y permitiendo la distribución eficiente del producto.

### ***Refuerzo de la Imagen de Marca***

La entrega consistente de producto sin daños reduce las quejas, las devoluciones y el riesgo de afectación a la imagen de calidad percibida por el cliente final.

### ***Eficiencia y Sostenibilidad***

La resistencia inherente del EPE, la funda de PP y la cinta elástica permite el diseño de un empaque con potencial de reutilización en ciclos logísticos cerrados, mejorando la sostenibilidad y la eficiencia a largo plazo del sistema de embalaje.

### ***Estandarización de Calidad***

Se logra la estandarización de un método de embalaje robusto y validado, lo que simplifica la operación y minimiza la dependencia de supervisiones rigurosas en el proceso de carga.

## Conclusiones

Se comprobó que el material tradicional (cartón corrugado) es inviable para el entorno de transporte de envases metálicos a granel; su baja resistencia a los esfuerzos mecánicos y la abrasión conduce a pérdidas anuales cuantificables de \$ 285.000.000 aproximadamente, lo que confirmó la urgencia y la necesidad crítica de sustitución del material para salvaguardar la rentabilidad y la percepción de calidad del cliente.

La ejecución de las pruebas piloto demostró que las soluciones basadas en un único material (PP o EPE) son insuficientes para el entorno logístico: la funda textil de polipropileno (PP) falló por desgarró y falta de amortiguación, mientras que el polietileno expandido (EPE) falló por la inestabilidad crítica de sujeción, a pesar de que su capacidad de amortiguación fue técnicamente efectiva; este resultado validó que la solución definitiva reside únicamente en un diseño compuesto.

Se concluye que la solución viable y definitiva es el prototipo H, el cual integra de forma sinérgica la amortiguación superior del EPE con la resistencia estructural de la funda textil de PP y un sistema de sujeción activo (cinta elástica plana Poliéster/Elastodieno). El prototipo H superó exitosamente el protocolo de ensayo en ruta, anulando totalmente el fallo logístico de sujeción y demostrando la ausencia de daños estructurales en las unidades protegidas.

A pesar de que el prototipo H implica un Incremento en Costo Unitario (ICU) del 256%, la inversión está totalmente justificada y es obligatoria desde el punto de vista financiero; la implementación del nuevo empaque reduce las reclamaciones por daño de 2 mensuales a 1 cada 3 meses, generando un Ahorro Anual Proyectado (AAP) de \$ 237.500.000 en costos de reposición y compensación.

El diseño robusto del prototipo H, que garantiza una vida útil promedio de 50 usos frente a los 2 usos del cartón, reduce significativamente el Costo por Uso (CPU) del material; esto asegura la rentabilidad a largo plazo del empaque, potenciando el ahorro generado por la mitigación del daño.

## **Recomendaciones**

Basado en la validación técnica y el análisis económico del prototipo H, se emiten las siguientes recomendaciones para la implementación, gestión y potencial expansión del proyecto:

### **Implementación Inmediata del Prototipo Híbrido H**

Se recomienda iniciar la fase de implementación y estandarización inmediata del prototipo H como la solución definitiva de embalaje para el transporte de envases metálicos a granel.

### ***Formalización de la Estandarización***

Incorporar el diseño y el proceso de uso del prototipo H dentro de los Manuales de Procedimientos Operativos Estándar (POES) de embalaje y carga.

### ***Adquisición***

Proceder con la adquisición y/o fabricación a gran escala del prototipo H, considerando la vida útil de 50 usos, aproximadamente, para optimizar los costos de inventario.

### ***Medición Post-Implementación***

Establecer un periodo de monitoreo trimestral para confirmar que el Ahorro Anual Proyectado (AAP) de \$ 237.500.000 se esté materializando consistentemente y que la Tasa de Daño Total (TDT) se mantenga cercana al 0%.

### **Gestión de Vida Útil y Reutilización (Gestión Logística Inversa)**

Para maximizar el retorno de la inversión y el beneficio ambiental del empaque reutilizable, se recomienda formalizar un sistema de gestión logística inversa.

### ***Trazabilidad y Retorno***

Implementar un sistema de trazabilidad para garantizar la recuperación del 100% de los prototipos H utilizados en el ciclo logístico, validando su vida útil real de 50 ciclos aproximadamente.

### ***Inspección y Mantenimiento***

Desarrollar un protocolo de inspección rápida para identificar el estado del material de empaque para validar posibles fallas en la costura o degradación de la funda textil de PP y/o la cinta elástica plana antes de cada ciclo de reutilización, asegurando que la protección se mantenga activa y sin comprometer el rendimiento.

### **Exploración de Oportunidades de Aplicación y Escalabilidad**

Dado el éxito del diseño híbrido del prototipo H en la mitigación de los fallos por sujeción y amortiguación, se recomienda explorar la escalabilidad de esta tecnología:

### ***Transferencia de Diseño***

Evaluar la aplicabilidad de la metodología del prototipo H para otros productos o tipos de envases que actualmente presenten una alta TDT por choques o vibración en ruta.

### Referencias Bibliográficas

- Anita Plastics. (2024). *Polipropileno Tejido*. <https://www.anitaplastics.com/es/products/pp-woven-fabrics/>
- ASIMAG S.L. (2007). *MANUAL DE ELABORACIÓN DEL CARTÓN ONDULADO*.  
<https://1library.co/document/qm51w55z-manual-de-elaboraci%C3%B3n-del-cart%C3%B3n-ondulado.html>
- Atabal, F. (2020, abril 14). *Propiedades del cartón*. <https://www.cartonajes-malaga.com/es/propiedades-del-carton/>
- Brostow, W., Jaklewicz, M., Deborde, J.-L., & Olszynski, P. (2003). Tribología con énfasis en polímeros: fricción, resistencia al rayado y al desgaste. *Journal of Materials Education* , 25, 119–132.  
[https://www.researchgate.net/publication/237031435\\_Tribologia\\_con\\_énfasis\\_en\\_polimeros\\_friccion\\_resistencia\\_al\\_rayado\\_y\\_al\\_desgaste](https://www.researchgate.net/publication/237031435_Tribologia_con_énfasis_en_polimeros_friccion_resistencia_al_rayado_y_al_desgaste)
- Cámara de comercio de Bogotá. (2019). *ETIQUETA, ENVASE, EMPAQUE Y EMBALAJE*.  
<https://bibliotecadigital.ccb.org.co/server/api/core/bitstreams/63892993-c3e5-47b7-930a-2b96175406b7/content>
- Chala, L. A. (2010). *EMPAQUES Y EMBALAJES PARA EXPORTACIÓN*.  
<https://1library.co/document/zw10lj0q-seminario-empaques-y-embalajes-para-exportacion-presentado-por-luis-alfonso-chala-asesor-especializado-en-comercio-internacional.html>
- Comercial Rupérez Náutica. (2021). *Goma (CINTA) elástica plana poliéster*.  
<https://www.ruperez-nautica.com/es/3425-goma-elastica-plana.html>

- Costa Resnitzky, M. H., Grander, G., da Silva, L. F., & Santibanez Gonzalez, E. D. R. (2021). Innovation projects of packaging recycling to a circular economy. *Sustainable Operations and Computers*, 2, 115–121. <https://doi.org/10.1016/j.susoc.2021.05.005>
- Easy Empaques. (s/f). *Ficha técnica lamina polipropileno corrugado conductivo*. <https://easyempaques.com/assets/pdf/plastico-corrugado-conductivo-esd.pdf>
- Elgueta Ortega, J., Naranjo Mogollones, N., & De la Calle Morales, F. (2022). *Catálogo de materiales para embalaje*. <https://www.cncr.gob.cl/publicaciones/catalogo-de-materiales-para-embalaje-conservacion-de-objetos-patrimoniales>
- Embalajes Capsa S.L. (2023). *Conoce el proceso de fabricación del cartón corrugado*. <https://capsa2in1.com/conoce-el-proceso-de-fabricacion-del-carton-corrugado/>
- Foam Sales. (2025). *Ficha técnica polietileno expandido*. <https://docs.google.com/document/d/1CjfpEeESbxfT3CRES94h4FtmCaXr06vl-2-OfOvVp-w/edit?tab=t.0#heading=h.h6ixt5617nyt>
- Forero, N., & González, C. (2020). *Agricultura Climáticamente Inteligente (ACI) en Colombia: diagnóstico y retos de política pública*. [https://upra.gov.co/sala-de-prensa/noticias/-/asset\\_publisher/](https://upra.gov.co/sala-de-prensa/noticias/-/asset_publisher/)
- Fundación para la Sostenibilidad Energética y Ambiental - Funseam. (2023). *Principios básicos de la economía circular*. [https://funseam.com/wp-content/uploads/2023/09/MODULO1\\_Principiosbasicosdelaeconomiacircular\\_Funseam2023-1.pdf](https://funseam.com/wp-content/uploads/2023/09/MODULO1_Principiosbasicosdelaeconomiacircular_Funseam2023-1.pdf)
- García Urrea, S., & Mendoza Diaz, W. R. (2018). *Propuesta de mejora de las rutas de transporte para la recogida y entrega de productos de una empresa productora y comercializadora de gases industriales y medicinales*.

<https://repositorio.ucp.edu.co/entities/publication/747aaf6e-641b-40ac-99a2-7f6dbe9f0c4a>

General Foams S.L. (2016). *Ficha técnica caucho reciclado*.

[https://media.cdn.bauhaus/s/bahagcom/assets/31/83/3183681\\_25769949.pdf](https://media.cdn.bauhaus/s/bahagcom/assets/31/83/3183681_25769949.pdf)

Geoproyectos y Diseños Ambientales. (s/f). *Ficha técnica manta geotextil*.

<https://geoproyectos.com.mx/pdf/geotextil.pdf>

Gómez Palacio, A. (2016). *Evolución del transporte terrestre de carga en Colombia y su impacto en empresas del sector industrial del Valle de Aburrá*.

<https://repository.eafit.edu.co/server/api/core/bitstreams/ab4c622b-f665-4b3c-9eac-e781b4c48be4/content>

Greif. (2025). *About - Greif*. <https://www.greif.com/about/>

Grupo tkrom. (2021). *Ficha técnica cartoncillo hidrofugo*.

<https://d7rh5s3nxmpy4.cloudfront.net/CMP2195/files/TDS-50230002.pdf>

Henríquez Larrarte, R., & Oreste Burgos, R. (2015). *Implicancias de una Responsabilidad Social Empresarial Sustentable*. [www.revistagpt.usach.cl](http://www.revistagpt.usach.cl)

Homecenter Sodimac Corona. (2025). *Yumbolon Rollo 12mm 1m\*25m Negro Rollo X 25 m2*.

[https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/3027788/yumbolon-rollo-12mm-1m25m-negro-rollo-x-25-m2/3027788/?kid=goosho\\_1394757&shop=googleShopping&msclkid=90d5648c232b16ff38f40c72b3a17b91](https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/3027788/yumbolon-rollo-12mm-1m25m-negro-rollo-x-25-m2/3027788/?kid=goosho_1394757&shop=googleShopping&msclkid=90d5648c232b16ff38f40c72b3a17b91)

Instituto Cefa. (s/f). *Manual de prevención carga y estiba en el transporte*.

<https://www.cefiformacion.com/public/pdf/Curso5.pdf>

Instituto de Hidrología, M. y E. A.-I., & Universidad Nacional de Colombia - UNAL. (2018). *LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y EL CAMBIO CLIMÁTICO EN COLOMBIA*.

[https://www.andi.com.co/Uploads/variabilidad\\_636602741696419023.pdf](https://www.andi.com.co/Uploads/variabilidad_636602741696419023.pdf)

Instituto Nacional de Tecnología Industrial. (2012). *Envases y Embalajes*.

<https://www.studocu.com/ec/document/universidad-de-guayaquil/tecnologia-de-alimentos/envases-y-embalajes-inti/107036947>

Instituto Nacional de Vías - INVIAS. (2023). *Proyecto Cruce de la Cordillera Central -Túnel de la Línea*. <https://crucecordilleracentral.invias.gov.co/>

Lau, C., Jarvis, A., & Ramírez, J. (2013). *Agricultura Colombiana: Adaptación al cambio climático*. <https://hdl.handle.net/10568/57475>

Maceda Rasmussen, P. J., Maurtua Gurmendi, L. G., & Aliaga Guevara, F. M. A. (2023). *Gestión de la cadena de suministro y toma de decisiones*.

<https://press.religacion.com/index.php/press/catalog/book/31>

Navarro Javierre, P. (2015). *Metodologías para el diseño y selección de embalajes de amortiguamiento optimizados, en función de su comportamiento funcional, económico y medioambiental*. <https://riunet.upv.es/handle/10251/63150>

Rodriguez, I. H. (s/f). *Fichas técnicas de empaque, envase y embalaje*.

[https://www.envapack.com/book/descargas/fichas\\_2013.pdf](https://www.envapack.com/book/descargas/fichas_2013.pdf)

Sabater Martínez, M. (2020). *SOSTENIBILIDAD E INNOVACIÓN EN EL SECTOR DEL TRANSPORTE DE MERCANCÍAS*.

<https://riunet.upv.es/server/api/core/bitstreams/bb479995-4165-422b-8bd4-2be719af256e/content>

Salcido, A. (2017). *Sustentabilidad Ambiental*.

[https://www.researchgate.net/publication/312196158\\_Sustentabilidad\\_Ambiental](https://www.researchgate.net/publication/312196158_Sustentabilidad_Ambiental)

Salguero, Sergio Iván, & Gutiérrez, A. (2019). *Sistema de Empaque Envase Embalaje y*

*Etiquetas*. <https://bibliotecadigital.ccb.org.co/server/api/core/bitstreams/63892993-c3e5-47b7-930a-2b96175406b7/content>

Somafluids. (2025). *Ficha técnica funda textil PP negra*. <https://shop.somafluids.com/wp-content/uploads/2024/02/6280-F-20.pdf>

Valbuena Amarís, N. I., & Lemos, F. O. (2015). *Guía de buenas prácticas - control de peligros*

*en la manipulación manual de cargas*. <https://posipedia.com.co/wp-content/uploads/2018/09/guia-buenas-practicas-control-peligro-manipulacion-cargas.pdf>