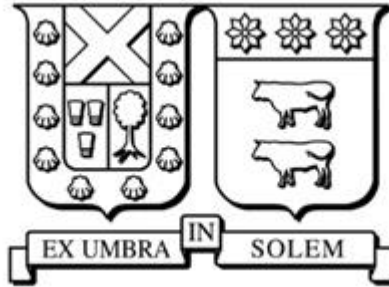


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARIA
INGENIERIA EN DISEÑO DE PRODUCTOS
VALPARAISO – CHILE



**VALORIZACIÓN DE RESIDUO INDUSTRIAL POLIMÉRICO EN CHILE MEDIANTE LA
APLICACIÓN DE MATERIAL DE DESECHO EN LA FABRICACIÓN DE UN PRODUCTO
DURABLE CON ENFOQUE EN LA SOSTENIBILIDAD**

JAVIERA DEL PILAR LAUREL OLIVARES
MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA EN DISEÑO DE
PRODUCTOS
PROFESORA GUIA - NATALIA DEBELUCK
AGOSTO - 2024

AGRADECIMIENTOS

A mi mamá y mi papá por darme la vida y el aliento para continuar en este camino, por permitirme explorar el universo tanto como yo lo he querido, por apoyarme en todos los experimentos locos que he hecho en mi vida casi sin juzgarme, por ser quienes son y quererme sin importar las razones. A mi hermana Claudia, mi hermano Rodrigo, mi sobrina Camila Rocío y mi sobrino nieto Gael por hacerme reír siempre que lo necesité, por darme amor y apoyarme en cada cosa que emprendiera, por ser parte fundamental de mi crecimiento y estar siempre que lo he necesitado. A mi polola Gaby por ser la que me levanta cada vez que caigo, por estar ahí día a día, alentarme cuando pierdo el norte, por darme el ejemplo día a día de que el esfuerzo vale la pena, por mostrarme lo lindo de la vida y ser quien llena de amor mi existencia. A mis gatas Nigga, Salen y Lucy por sacarme siempre de los momentos tristes, por acompañarme en todas mis desveladas desde que estaba estudiando para entrar en esta carrera, ser fuente inagotable de alegría, juegos y risas. A mi mejor amiga Yasna, por permanecer a mi lado sin importar nada, por creer en mi cuando ni siquiera yo creo en mí, por brindarme amor, lealtad y por todas las risas, penas, los festejos y momentos difíciles,

gracias por siempre estar y dar siempre todo de ti, gracias por la pasión con la que vives tu vida y permitirme ser parte de ella. Gracias a mi psicóloga María, por ser un pilar fundamental en mi contención emocional y mi salud mental, por enseñarme que con dedicación y autocompasión lo puedo conseguir todo, a mi ex terapeuta Jenny por preparar el camino previamente, el que ahora estoy transitando, por ayudarme a conocer mis emociones y ayudarme a transitar el momento más difícil de mi vida.

Gracias a la profesora Natalia, por ser mi profesora guía y realmente guiar mi proceso pese a los momentos de incertidumbre, a la montaña rusa que fue mi vida estos meses, gracias por siempre confiar en mí, darme ánimos y repetirme constantemente que me iría bien, parece que siempre tuvo razón.

Gracias a todos los profesores de IDP que me enseñaron el valor del diseño y de la ingeniería, sobre todo a Vicente Arenas, Inés Tealdo, Ricardo Viveros y Jorge Maggiolo, que con sus palabras, experiencia y consejos me ayudaron a ser la profesional y persona que soy hoy. A Mario Dorochesi (Q.E.P.D.) parte crucial en la creación y crecimiento de nuestra carrera.

Gracias a las trabajadoras y trabajadores de Sistemold que ayudaron con conocimientos y trabajo práctico para que esta tesis se robusteciera de realidad.

Gracias a Gabriel y a Beloop por permitir el uso de su plataforma y todo su conocimiento en sostenibilidad.

Gracias a Vanessa Contreras Olguin, por ser una excelente compañera, amiga y profesional, a Sebastián Segreste por ser mi primer jefe y enseñarme sobre la vida laboral de un IDP, gracias por los consejos y lo bien que lo pasé en la práctica, a Martin Serey por estar presente y siempre ayudarme cuando lo he necesitado y a Vicente Rodas por ser un gran compañero, profesional y bombero, gracias a los 4 por confiar en mí y tomarse el tiempo de escribir una carta, la cual me permitió estar aquí el día de hoy.

Gracias a Ber y Benja por ser apoyo espiritual, darme ánimo y confianza para emprender este camino. Gracias a mis profesores de yoga Carolina, Yoh y Chriss por enseñarme sobre la disciplina, a Álvaro y Nela por enseñarme de forma amorosa a traspasar mis límites.

Agradezco a cada persona que conocí en este proceso que inició con el término de mi anterior intento de tesis, por ser parte importante de mi evolución, por enseñarme tanto y por marcar mi vida.

Agradezco a cada una de las personas que aquí menciono por ser parte fundamental en este proceso, tengan o no conciencia de aquello. Agradezco a dios por permitirme experimentar este momento de realización y alegría junto a mis seres queridos.

Esta memoria se la dedico a toda persona que, en su corazón, quiera generar un cambio en este mundo, a toda persona que se conmueva con el daño que día a día le hacemos a la Tierra, a toda persona que tenga la mínima intención de hacer de este un mundo mejor, mi trabajo y esfuerzo es y será siempre para ustedes, crean en el poder que tienen, un grano de arena puede formar montañas, ustedes son la razón principal de la evolución y el cambio.

RESUMEN

En el contexto actual, la gestión de desechos y la contaminación son problemáticas de carácter urgente. Esta memoria de titulación, desarrollada para la carrera de Ingeniería en Diseño de Productos, tiene como objetivo principal valorizar los desechos industriales, dándoles una nueva aplicación funcional.

Se comenzó con un estudio sobre sostenibilidad enfocado en materiales poliméricos, especialmente aquellos disponibles para empresas nacionales como Sistemold, empresa que sirvió como caso de estudio. Se identificó la posibilidad de utilizar estos materiales en la fabricación de pallets.

Posteriormente, se utilizó un método con un enfoque sostenible, integrando diversas herramientas diseñadas para ese propósito. A partir del método utilizado se crearon seis conceptos iniciales, de los cuales se seleccionaron dos que luego fueron fusionados en una propuesta robusta. Además, se eligió un material específico junto con su método de fabricación adecuado.

El desarrollo final fue evaluado con la creación de prototipos para validar la usabilidad y percepción del diseño. También

se llevaron a cabo pruebas mecánicas y físicas del material. Finalmente, se presentó una propuesta definitiva: un pallet armable, fabricado a partir de desechos industriales, que no solo prolonga la vida útil de los materiales, sino que también agrega valor al proceso de reciclaje y sostenibilidad.

Palabras clave: Gestión de residuos industriales, sostenibilidad, SCRAP, pallets, reciclaje.

ABSTRACT

In the current context, waste management and pollution are urgent issues. This thesis, developed for the Product Design Engineering degree, has the primary objective of adding value to industrial waste by giving it a new functional application. The project began with a sustainability study focused on polymeric materials, particularly those available to national companies like Sistemold, which served as the case study. The possibility of using these materials in pallet manufacturing was identified.

Subsequently, a method with a sustainable approach was employed, integrating various tools designed for this purpose. From the method used, six initial concepts were created, two of which were selected and then merged into a robust proposal. Additionally, a specific material was chosen along with its appropriate manufacturing method.

The final development was evaluated by creating prototypes to validate the usability and perception of the design. Mechanical and physical tests of the material were also carried out. Finally, a definitive proposal was presented: a modular pallet made from industrial waste that not only extends the life

cycle of the materials but also adds value to the recycling and sustainability process.

Keywords: Industrial waste management, sustainability, SCRAP, pallets, recycling.

GLOSARIO

Cupón: sinónimo de probeta, pieza de un material a realizar ensayos mecánicos con dimensiones específicas.

Factor de seguridad: Los límites de estrés material se representan como la fuerza de rendimiento material o la fuerza de tracción definitiva. Los factores de seguridad se expresan como la relación entre la resistencia máxima del material (Yield o Ultimate Tensile Strength) con el estrés real de la parte (von Mises o 1er Estrés Principal): $\text{Factor de seguridad} = \text{Fuerza de materiales} / \text{Estrés real}$, frecuentemente, los diseñadores se esfuerzan por un factor de seguridad mínimo entre 1,5 y 6, dependiendo de la aplicación.

g: Abreviatura de gramo, medida de peso.

HH: Horas hombre, se refiere generalmente al valor por trabajo físico y/o intelectual de una persona, sea hombre o mujer, destinado a una labor específica, cuyo precio se ve reflejado en la estructura de costos en una empresa.

kg: Abreviatura de kilogramo, medida de peso.

mm: Abreviatura de milímetro, medida de dimensión.

ml: Abreviatura de milígramo, medida de volumen.

mm3: Abreviatura de milímetros cúbicos, medida de volumen.

Pallet: inglés de palé, se utilizó la palabra en inglés en el presente texto debido a que se utiliza de forma más común que palé.

Productos de mediana o larga vida útil:
Se considera de larga vida útil a productos que superan la mediana vida útil, esta se calcula tomando en cuenta la duración promedio del producto estudiado.

Scrap: Residuos o desechos de material que resultan de procesos de fabricación y producción

UTFSM CC: Abreviatura para Universidad Técnica Federico Santa María Casa Central.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	I
RESUMEN	IV
ABSTRACT	VI
GLOSARIO	VIII
ÍNDICE.....	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIX
INTRODUCCIÓN	1
CONTEXTO	1
<i>Sistemold</i>	<i>1</i>
<i>Sostenibilidad</i>	<i>3</i>
<i>Residuos, uno de los grandes problemas de la</i>	
<i>sostenibilidad actual</i>	<i>4</i>
<i>Sostenibilidad y plásticos.....</i>	<i>3</i>
<i>Transporte, oportunidades y desafíos</i>	<i>8</i>
<i>Pallets.....</i>	<i>8</i>
CONTEXTO NACIONAL	10
PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	1
OBJETIVOS	12
<i>Objetivo general.....</i>	<i>12</i>
<i>Objetivos específicos</i>	<i>12</i>
JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	12
METODOLOGÍA	14
DESCUBRIR.....	15
<i>Benchmarking de pallets con enfoque</i>	
<i>sostenible</i>	<i>16</i>
<i>Entrevista</i>	<i>16</i>
<i>Lifecycle exploration sheet</i>	<i>16</i>
<i>Estudio sobre los materiales poliméricos.....</i>	<i>16</i>

<i>Estudio sobre los procesos de fabricación de artículos plásticos</i>	16
DEFINIR	17
<i>Redacción de requerimientos</i>	17
<i>Rueda de LIDS: Etapa 1</i>	17
<i>Rueda de LIDS: Etapa 3</i>	17
DESARROLLAR	18
<i>Disrupt Design: Hoja de trabajo 4</i>	18
<i>Rueda de LIDS (completa)</i>	18
<i>Pruebas mecánicas</i>	18
<i>Prototipado</i>	18
<i>Encuesta y escala Likert</i>	18
<i>Análisis de Ciclo de Vida</i>	19
ENTREGA	19
<i>Circular Design Rules</i>	19
<i>Lifecycle exploration sheet</i>	19
<i>Fabricación de un MVP</i>	20
<i>Análisis de Ciclo de Vida</i>	20
<i>Análisis Costo-Beneficio</i>	20
CARTA GANTT	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
CAPÍTULO 1: DESCUBRIR	21
BENCHMARKING PALLET SOSTENIBLE	21
ENTREVISTAS	22
LIFECYCLE EXPLORATION SHEET	24
INVESTIGACIÓN DEL MATERIAL	25
<i>Polímeros</i>	25
<i>Uso del plástico en Chile</i>	27
<i>Desafíos actuales</i>	28
INVESTIGACIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO	29
<i>Extrusión</i>	29
<i>Moldeo por Inyección</i>	29

<i>Moldeo por Compresión</i>	30
<i>Actualidad en Chile</i>	30
CAPÍTULO 2: DEFINIR	31
REQUERIMIENTOS	31
<i>Dimensiones mínimas y máximas</i>	31
SELECCIÓN DE MATERIALES POTENCIALES	33
<i>Rueda de LIDS: Etapa</i>	34
<i>Disponibilidad del material</i>	35
<i>Caracterización del material</i>	38
SELECCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO	39
<i>Rueda de LIDS etapa 3</i>	40
CAPÍTULO 3: DESARROLLAR	42
ANÁLISIS DE DISEÑO PALLET EXISTENTES	42
PARTES DE UN PALLET	45
CREACIÓN DE CONCEPTOS	45
<i>Disrupt Design: Hoja de trabajo 4</i>	45
DESARROLLO DE CONCEPTOS	46
<i>Diseño para el desmontaje</i>	46
<i>Diseño para la modularidad</i>	47
<i>Diseño para la remanufactura</i>	48
<i>Diseño para la reciclabilidad</i>	48
<i>Diseño para la durabilidad</i>	50
<i>Diseño para el pensamiento completo del ciclo de vida del producto</i>	50
SELECCIÓN DEL CONCEPTO	51
<i>Rueda LIDS</i>	51
<i>Requerimientos</i>	52
PROPUESTAS GANADORAS	54
<i>Desarrollo de propuesta final</i>	55
DISEÑO DEL DETALLE	55
<i>Uniones</i>	55

<i>Nervaduras y refuerzos</i>	58
<i>Transporte en vacío</i>	59
PRUEBAS MECÁNICAS	59
<i>Tracción</i>	62
<i>Flexión</i>	65
<i>Densidad</i>	67
<i>Fluidez</i>	68
PROTOTIPOS	70
<i>Prueba de dimensiones generales</i>	70
<i>Prueba de sistema de anclaje</i>	72
<i>Segunda versión del pallet</i>	74
CAPÍTULO 4: ENTREGAR	78
CIRCULAR DESIGN RULES.....	78
LIFECYCLE EXPLORATION SHEET.....	78
FABRICACIÓN DE UN MPV.....	79
<i>Producto final</i>	79
<i>MPV</i>	83
ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA	84
<i>Análisis Costo-Beneficio</i>	85
CONCLUSIONES	87
ANEXOS	91
ANEXO 1: ENTREVISTAS	91
ANEXO 2: BENCHMARKING	98
ANEXO 3: LIFECYCLE EXPLORATION SHEETS	99
ANEXO 4: ANÁLISIS DE PALLETS.....	101
ANEXO 5: DESARROLLO DE CONCEPTOS Y EVALUACIÓN CON LA RUEDA DE LIDS)	102
<i>Mapa de recorrido “del pallet”</i>	102
<i>Rueda de LIDS: Diseño para el desmontaje</i> ..	103
<i>Rueda de LIDS: Diseño para la modularidad</i>	104

<i>Rueda de LIDS: Diseño para la remanufactura</i>	104
<i>Rueda de LIDS: Diseño para la reciclabilidad</i>	105
<i>Rueda de LIDS: Diseño para la durabilidad</i> ...	105
<i>Evaluación de Requisitos</i>	106
ANEXO 6: DESARROLLO	108
<i>Diseño del detalle: Unión</i>	108
<i>Diseño del detalle: Nervaduras</i>	109
<i>Pruebas mecánicas: Tracción</i>	112
<i>Resultados encuesta Likert</i>	118
ANEXO 7: ENTREGA.....	122
<i>Lifecycle Exploration Sheet</i>	123
<i>Diseño final</i>	124
<i>Análisis de ciclo de vida de producto</i>	129
REFERENCIAS	137

Índice de figuras

Figura 1: Cantidad de empresas de la industria del plástico según tamaño de la empresa (ASIPLA, 2023) 2

Figura 2: Resumen de los ODS (CEPAL, s. f.) 4

Figura 3: Generación de residuos industriales no peligrosos por región.(Ministerio del Medio Ambiente, 2023) 5

Figura 4: Diagrama Sankey: ciclo de vida de un packaging plástico. (Li et al., 2022) 4

Figura 5: Distribuciones de la duración de vida del producto para los ocho sectores de uso industrial representadas como funciones de distribución de probabilidad log-normal (Letcher, 2020) 7

Figura 6: Consumo global del plástico según industria desde el año 1950 al 2015 (Letcher, 2020) 7

Figura 7: De izquierda a derecha, el primer pallet patentado, el primer pallet plástico patentado y el último pallet patentado. Rescatado de <https://worldwide.espacenet.com/>. 10

Figura 8: Principales problemáticas medioambientales en Chile (GfK-NIQ Chile, 2023).....	1
Figura 9: Diagrama de flujo que propone la Ley REP.....	1
Figura 10: Representación gráfica del modelo doble diamante incluyendo las herramientas a utilizar. Elaboración propia.....	15
Figura 11: Diagrama de la Rueda de LIDS (Sanchis Gisbert, 2022).....	17
Figura 12: Esquema resumen de entrevistas. Elaboración propia	24
Figura 13: Aplicación de la “Lifecycle exploration sheets” a un primer acercamiento del funcionamiento del pallet a desarrollar.....	25
Figura 14: clasificación de los plásticos utilizada para facilitar el reciclaje (Circula El Plástico, 2021)	26
Figura 15: A la izquierda el uso por rubro en Chile de material polimérico, a la derecha el uso por tipo de polímero en Chile (ASIPLA, 2023)	27
Figura 16: Diagrama uso de materiales plásticos por rubro y material en Europa (Mangold & von Vacano, 2022)	28

Figura 17: dimensiones generales de una transpaleta. Recuperado de www.tymbia.com	32
Figura 18: Sistemas de automatización y uso del pallet. Recuperado de www.tecelec.com.....	32
Figura 19: Generación de residuos industriales no peligrosos por sector económico. (Ministerio del Medio Ambiente, 2023)	36
Figura 20: Residuos peligrosos y no peligrosos en toneladas para los años 2021, 2022 y 2023 (CMPC, 2023)	37
Figura 21: Método de tratamiento de residuos no peligrosos en toneladas para los años 2021, 2022 y 2023 (CMPC, 2023)	38
Figura 22: Caracterización desecho de una hidropulper (ASPAPPEL, 2008)	39
Figura 23: Pallet liviano (tradepallet).....	43
Figura 24: Pallet resistente a la compresión	43
Figura 25: Pallet de madera certificado....	44
Figura 26: CocoPallet	44
Figura 27: Partes generales de un pallet. Elaboración propia.....	45
Figura 28: Aplicación de la hoja de trabajo 4 de Disrupt Design	46

Figura 29: Concepto diseño para el desmontaje. Elaboración propia en Autodesk Fusion.....	47
Figura 30: Concepto diseño para la modularidad. Elaboración propia en Autodesk Fusion.....	48
Figura 31: Concepto diseño para la remanufactura. Elaboración propia en Autodesk Fusion.....	48
Figura 32: Concepto diseño para la reciclabilidad. Elaboración propia en Autodesk Fusion.....	50
Figura 33: Concepto diseño para la durabilidad. Elaboración propia en Autodesk Fusion.....	50
Figura 34: Concepto ganador de la rueda LIDS “Diseño para la remanufactura”. Elaboración propia	52
Figura 35: Propuesta ganadora 1 “Diseño para la remanufactura”. Elaboración propia	54
Figura 36: Propuesta ganadora 2 “Diseño para la reciclabilidad”. Elaboración propia	54
Figura 37: Ecuación matemática del módulo de flexión y resistencia a la flexión ...	55
Figura 38: Diseño general. Elaboración propia	55

Figura 39: Representación gráfica de una unión deslizante. Rescatada de firstmold.com	56
Figura 40: Representación gráfica de una unión de clip. Rescatada de firstmold.com	56
Figura 41: Representación gráfica de una unión a presión, vista de corte. Rescatada de www.china-machining.com	56
Figura 42: Diseño de la unión entre partes, de derecha a izquierda: taco, tabla travesaño, tabla deck y patín. Elaboración propia.....	57
Figura 43: Sistema de unión, de izquierda a derecha vista en explosión, vista lateral, clip, seguro	57
Figura 44: A la izquierda tabla deck y patin vista superior, a la derecha travesaño vista inferior	57
Figura 45: Resultado de simulación, factor de seguridad aplicando 1 TON de carga. Vista frontal, superior y lateral. Elaboración propia.....	58
Figura 46: Resultado de simulación, factor de seguridad aplicando 1 TON de carga. Vista frontal, superior y lateral. Elaboración propia.....	59
Figura 47: Muestra para testeo con espesor menor a 3,2 mm	61

Figura 48: Molde de inyección para los ensayos mecánicos de tracción y flexión fabricado por Sistemold.....	61
Figura 49: Máquina INSTRON TTDM10 perteneciente al laboratorio de mecánica de la UTFSM CC.....	62
Figura 50: Probetas para el ensayo de tracción, de izquierda a derecha grupo de probetas al 100% de SCRAP, 70% de SCRAP y 50% de SCRAP.....	63
Figura 51: Cupón cargado en la máquina de medición.....	63
Figura 52: Especificaciones de la probeta.....	64
Figura 53: Configuraciones del ensayo, de izquierda a derecha, escala de fuerza aplicada, desplazamiento máximo y velocidad de avance.....	64
Figura 54: Resultado del ensayo en el software.....	65
Figura 55: Ejemplo de gráfico, con escala ajustada, del comportamiento del ensayo de tracción.....	65
Figura 56: Probetas para el ensayo de flexión, de izquierda a derecha grupo de probetas al 100% de SCRAP, 70% de SCRAP y 50% de SCRAP.....	66
Figura 57: Cupón cargado en la máquina de medición.....	66
Figura 58: Final del recorrido de la máquina.....	67
Figura 59: Gráfico resultante del ensayo de flexión en la probeta N°1 del material 50% SCRAP 50% Reciclado de bolsa.....	67
Figura 60: Pesa, probetas y peso de calibración.....	68
Figura 61: De izquierda a derecha: áquina de medición de fluidez, máquina de medición cargada con el peso mínimo.....	69
Figura 62: Material de SCRAP atascado en la boquilla de la máquina de medición.....	70
Figura 63: Pallet de prueba, usabilidad con montacarga.....	70
Figura 64: Corte representativo para validación de armado. Elaboración propia.....	72
Figura 65: Validación del prototipo de armado. Elaboración propia.....	72
Figura 66: Instructivo de armado primer módulo. Elaboración propia.....	73
Figura 67: Tiempo de armado y desarmado del primer módulo. Elaboración propia.....	74
Figura 68: Corte transversal del pallet, donde se muestra los nuevos encajes entre piezas.:.....	75

Figura 69: Segunda validación del sistema de anclaje.....	75
Figura 70: Instructivo de armado segundo módulo. Elaboración propia.....	76
Figura 71: Tiempo de armado y desarmado del segundo módulo. Elaboración propia.....	77
Figura 72: Vista isométrica del taco.....	79
Figura 73: Vista isométrica de la tabla deck y patín.....	80
Figura 74: Vista isométrica de la tabla travesaño.....	81
Figura 75: Vista isométrica del clip.....	81
Figura 76: Vista isométrica de seguro. ...	82
Figura 77: Pallet liviano.....	82
Figura 78: Pallet carga media.....	83
Figura 79: Pallet carga pesada.....	83
Figura 80: Postizos mecanizados para la tabla deck y patín.....	84
Figura 81: Análisis Beloop pallet de madera.....	85
Figura 82: Análisis Beloop pallet SCRAP.....	85
Figura 83: Aplicación de la "Lifecycle exploration sheets" al pallet actual utilizado por Soprole.....	99
Figura 84: Aplicación de la "Lifecycle exploration sheets" al pallet utilizado por Fosko.....	100
Figura 85: Rueda de LIDS aplicada a diseño para el desmontaje.....	104

Figura 86: Rueda de LIDS aplicada a diseño para la modularidad.....	104
Figura 87: Rueda de LIDS aplicada a diseño para la remanufactura.....	105
Figura 88: Rueda de LIDS aplicada a diseño para reciclabilidad.....	105
Figura 89: Rueda de LIDS aplicada a diseño para la durabilidad.....	106
Figura 90: Resultado de simulación, factor de seguridad aplicando 1 TON de carga en concepto para la remanufactura. Vista superior. Elaboración propia.....	106
Figura 91: Resultado de simulación, factor de seguridad aplicando 1 TON de carga en concepto para el reciclaje con 9 tablas deck. Vista superior. Elaboración propia.....	106
Figura 92: Resultado de simulación, factor de seguridad aplicando 1 TON de carga en concepto para el reciclaje con 5 tablas deck. Vista superior. Elaboración propia.....	107
Figura 93: Seguro y clip.....	108
Figura 94: Detalle de nervaduras, tabla travesaño.....	109
Figura 95: Detalle de nervaduras, tablas deck y patín.....	110
Figura 96 Detalle de nervaduras, tacos.....	111

Figura 97: Dimensiones del cupón para el ensayo mecánico de tracción bajo la normativa ASTM D638-10. Elaboración propia.	112
Figura 98: Gráfica de ensayo de tracción material 70% SCRAP, cupón 1.....	113
Figura 99: Gráfica de ensayo de tracción material 70% SCRAP, cupón 2.....	114
Figura 100: Gráfica de ensayo de tracción material 70% SCRAP, cupón 3.....	115
Figura 101: Gráfica de ensayo de tracción material 70% SCRAP, cupón 4.....	116
Figura 102: Gráfica de ensayo de tracción material 70% SCRAP, cupón 5.....	117
Figura 103: Aplicación de la "Lifecycle exploration sheets" al pallet final. ...	123
Figura 104: Planos tabla deck y patín....	124
Figura 105: Planos tabla travesaño.	125
Figura 106: Planos seguro.....	126
Figura 107: Planos clip.	127
Figura 108: Planos taco.....	128
Figura 109: Análisis Beloop, pallet de madera, producción.....	129
Figura 110: Análisis Beloop, pallet de madera, transporte.	130
Figura 111: Análisis Beloop, pallet de madera, uso.	131
Figura 112: Análisis Beloop, pallet de madera, fin de vida.	132

Figura 113: Análisis Beloop, pallet de SCRAP, producción.....	133
Figura 114: Análisis Beloop, pallet de SCRAP, transporte.	134
Figura 115: Análisis Beloop, pallet de SCRAP, uso.	135
Figura 116: Análisis Beloop, pallet de SCRAP, fin de vida.	136

Índice de tablas

Tabla 1: Estudio del material con la Rueda de LIDS 34

Tabla 2: Evaluación de conceptos con la rueda LIDS 51

Tabla 3: Evaluación de conceptos según requerimientos..... 53

Tabla 4: Ensayos mecánicos y pruebas del material 60

Tabla 5: Resultados ensayos de tracción. 65

Tabla 6: Estudio de densidad para los 3 grupos de muestras..... 68

Tabla 7: Cuestionario tipo escala Likert. Elaboración propia..... 71

Tabla 8: Resumen de entrevista 1, Pallets y sostenibilidad..... 97

Tabla 9: Benchmarking de pallets..... 98

Tabla 10: Análisis de pallets 101

Tabla 11: Mapa de recorrido de un pallet 103

INTRODUCCIÓN

La cantidad de plástico que está contaminando nuestro planeta cubre desde las cumbres del Everest hasta las profundidades del océano y si no tomamos medidas urgentes la cantidad de plástico en los océanos superará a la de los peces para 2050 (Jambeck et al., 2015). Una posible solución para esos problemas es la búsqueda por la sostenibilidad (Villarrubia-Gómez et al., 2018), sobre todo en la labor de quienes toman las decisiones de diseño sobre los productos fabricados (Mcaloone & Bey, 2009)

Esta tesis busca, mediante herramientas y una metodología de diseño sostenible, valorizar basura plástica del ambiente para fabricar pallets económicamente viables. Esos son objetos con una vida útil prolongada, pudiendo así ayudar a disminuir la polución plástica en las regiones de Valparaíso y Metropolitana de Chile de manera factible para la industria chilena.

Contexto

Sistemold

Debido a la necesidad de acotar la investigación a un contexto real se le solicitó

a la empresa Sistemold la ayuda tanto en información como en testeo y experimentación del producto desarrollado en esta tesis en sus distintas etapas y asesoría en la fabricación. Esta empresa funcionará como referente de la industria

actual del plástico, ya que como muestra la figura 1, pertenece a las pequeñas empresas, el mayor grupo de empresas relacionadas al plástico existentes en el país.

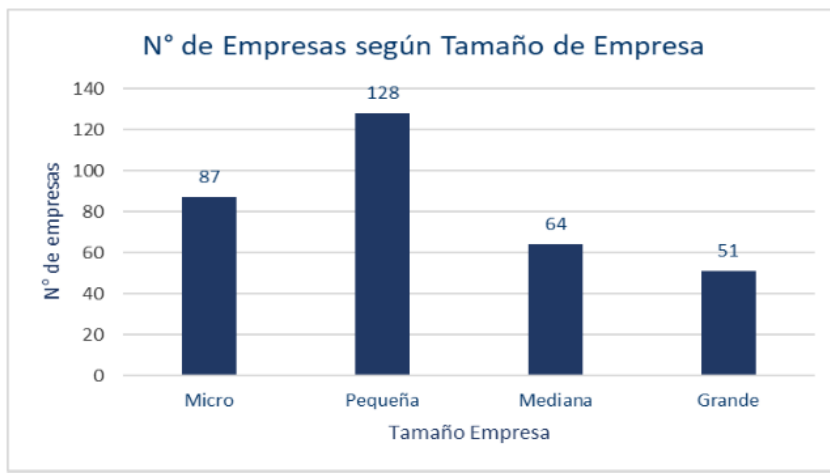


Figura 1: Cantidad de empresas de la industria del plástico según tamaño de la empresa (ASIPLA, 2023)

Sistemold es una empresa chilena especializada en la fabricación de productos plásticos y poliméricos para la industria nacional e internacional fundada en el año 2004. Su sede principal se encuentra en San Joaquín, Santiago, y posee una sucursal en Casablanca. El volumen de venta aproximado es de \$100.000.000 mensual.

Actualmente Sistemold se encuentra en una etapa de certificación para convertirse en destino final para recibir los desechos plásticos que las empresas no pueden gestionar. Parte del equipo lleva más de 20 años experimentando con el reciclaje y nuevas formas de utilizar el plástico, ya sea con residuos orgánicos de desecho o con material de descarte como el scrap.

Sistemold cuenta con 8 inyectoras, una sopladora, una trituradora una estrujadora, 3 máquinas CNC, una máquina de corte por hilo, 2 máquinas de electroerosión y 3 tornos en la sede de Santiago, y en Casablanca cuenta con 3 máquinas inyectoras, una trituradora y una línea de valorización de material polimérico.

La estrategia de Sistemold se centra en la calidad y la innovación. La empresa busca posicionarse como líder en la industria de artículos plásticos, ofreciendo productos que cumplen con altos estándares de calidad y que son diseñados para satisfacer las necesidades específicas de sus clientes. Su enfoque en la tecnología avanzada y en la mejora continua de sus procesos productivos refuerza su compromiso con la excelencia.

Su estructura organizacional consta de un gerente general, un gerente de operaciones y un gerente de ventas, posee 35 trabajadores de los cuales 9 están en el área administrativa, 6 en matricería y 20 en producción.

Prestan servicios relacionados a la matricería, moldeo por inyección y

mecanizado. Sus principales productos son piezas plásticas enfocadas a la industria de la minería, para procesos productivos, para rubros electrónicos y para estanques.

Sostenibilidad

Se definió por primera vez la palabra “sustainability”, en español sostenibilidad, como el consumo razonable de recursos asegurando la existencia de recursos en el futuro, integrando los aspectos económico, social y ambiental en el año 1987 (World Commission on Environment and Development, 1987). La meta de la sostenibilidad, como su definición lo propone, es asegurar un futuro viable para los seres vivos que habitan el planeta Tierra. Desde ese momento se desarrollan medidas, tratados y eventos a favor de la sostenibilidad, entre estos se destacan la Conferencia de las Partes (COP) y la agenda 2030, que se resume en los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) que se muestran en la figura 2.



Figura 2: Resumen de los ODS (CEPAL, s. f.)

Los ODS fueron definidos y aceptados en septiembre del 2015 por la Asamblea de las Naciones Unidas, estos cumplen con el rol de informar a las naciones cuáles son las áreas de mayor relevancia a tratar, organiza los esfuerzos para crear un presente y futuro sostenible.

Residuos, uno de los grandes problemas de la sostenibilidad actual

Los objetivos 14 y 15 hablan sobre el cuidado de la vida tanto terrestre como submarina, uno de los muchos factores que actualmente interviene en estos entornos son los residuos los que, en general son producidos por la actividad humana (Awuchi

et al., 2020) y se puede dividir en dos grandes grupos. Primero están los residuos municipales o domiciliarios, los cuales se dividen en verduras y alimentos (44%), cartón (17%), papel y plásticos (12%), vidrio (5%), metal (4%), madera (2%), caucho y cuero (2%) y otros (14%) (Sondh et al., 2024). Para visualizar de mejor manera el problema del tratamiento de residuos sólidos vemos el ejemplo de los desechos en Sudamérica y El Caribe los cuales son depositados casi en su totalidad en vertederos legales o ilegales, lo que representa más de 35.000 toneladas de residuos quedan sin un adecuado tratamiento diariamente afectando a más de 40 millones de personas (alrededor del 7% de la población de Sudamérica y El Caribe) (Paes et al., 2024).

Por otro lado, los residuos industriales incluyen los desechos de las industrias manufactureras pesadas y livianas, plantas de fabricación, plantas de enlatado, sitios de construcción, plantas químicas, plantas de energía, entre otros, cuyas cifras específicas son difíciles de obtener (Patricio et al., 2020). En Chile, 19,6 millones de toneladas de residuos sólidos fueron desechadas en el año 2018, de los cuales, el 55% es de origen

industrial y el 42% domiciliarios (municipales) (Ministerio del Medio Ambiente, 2023). En la figura 3 se puede visualizar la distribución de generación de residuos no peligrosos por región en el

sector industrial, además de la cantidad que es valorizada. La región metropolitana es la que genera la mayor cantidad de estos desechos.

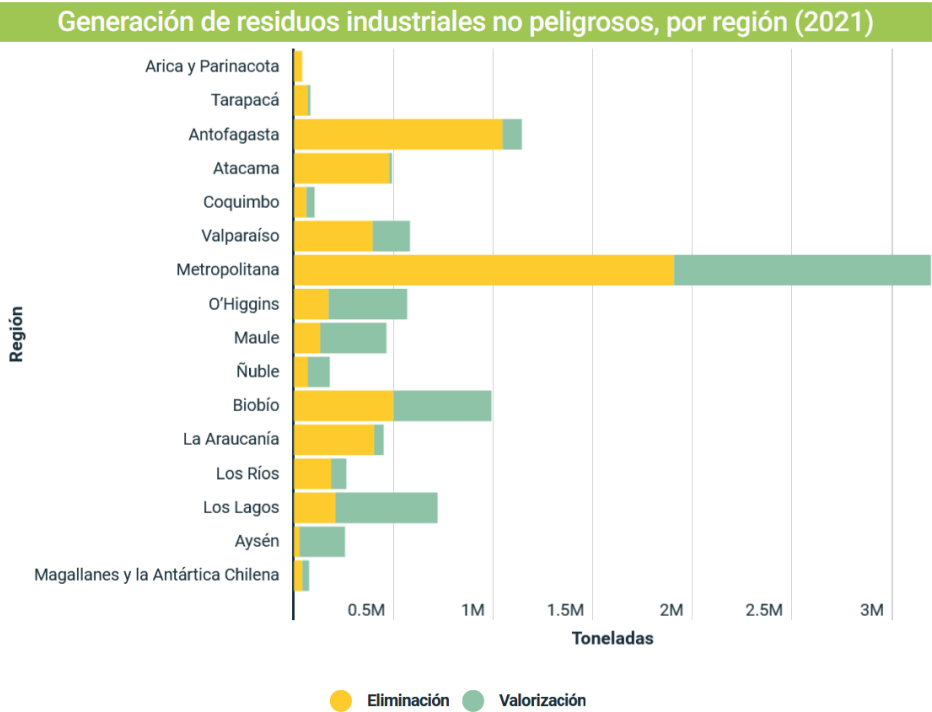


Figura 3: Generación de residuos industriales no peligrosos por región. (Ministerio del Medio Ambiente, 2023)

La problemática de los desechos (en ambos casos, industrial y domiciliario) viene dada por el modelo de producción y economía

lineal, que consiste básicamente en la extracción de materias primas vírgenes, la producción de bienes y servicios, el

consumo y el desecho (GARABIZA et al., 2021). Uno de los materiales más utilizados bajo este pensamiento es el plástico con los denominados plásticos de un solo uso o SUPs en sus siglas en inglés siendo una de las principales fuentes de residuos (Korley et al., 2021), en conjunto, todos los desechos plásticos generaron aproximadamente 7.400 millones de toneladas de plástico acumulado en forma de desecho al año 2017 en el planeta Tierra (Korley et al., 2021).

Sostenibilidad y plásticos

Pese a las políticas existentes de prohibición de uso de ciertos plásticos su uso y, por ende, la acumulación, seguirá en aumento debido a los impactos socioeconómicos y de salud que podría generar el prescindir de ellos (Korley et al., 2021). Considerando lo anterior, es alarmante que menos del 10% de los plásticos se recicla en todo el mundo, menos del 1% del plástico se recicla más de una vez y solo 12% de los plásticos se

incineran en términos generales a nivel mundial (Korley et al., 2021). Esto significa que aproximadamente el 80% de los productos plásticos, sin importar el origen, está siendo desechado, contaminando la tierra, el agua, el aire, los alimentos y filtrándose en los tejidos de los seres humanos (Campanale et al., 2020).

Es relevante destacar que la vida útil del producto y duración del o los materiales que componen el producto son valores totalmente distintos, un paquete de galletas puede tener una vida útil de máximo 5 meses, que representa lo que duran las galletas en buen estado dentro del paquete, mientras que la duración del material plástico que compone el envoltorio puede llegar fácilmente a los cientos de años antes de descomponerse (Gil Aaron et al., 2020).

Se pueden clasificar los plásticos según el ciclo de vida del producto (Li et al., 2022) como se ve en la figura 4.



Figura 4: Diagrama Sankey: ciclo de vida de un packaging plástico. (Li et al., 2022)

Los desechos plásticos pueden ser divididos en cuatro áreas según donde se encuentran: existen los residuos postindustriales (PIW), residuos de postconsumo (PCW), plásticos que están presentes en residuos sólidos municipales (RSU) y plásticos oceánicos. Gracias principalmente a los SUPs, estas 4 categorías siguen aumentando y depositándose en áreas naturales.

Según el artículo fabricado el plástico puede estar más o menos tiempo en “uso” y por

ende el descarte se prolonga, como con los productos plásticos usados para el transporte, que son de los más durables en cuanto a vida útil después de los plásticos usados para maquinaria industrial y la construcción (Geyer et al., 2017) como se puede ver en la figura 5, por ende, son escenarios donde el plástico podría retenido y separado del medioambiente disminuyendo la contaminación de mares y tierras.

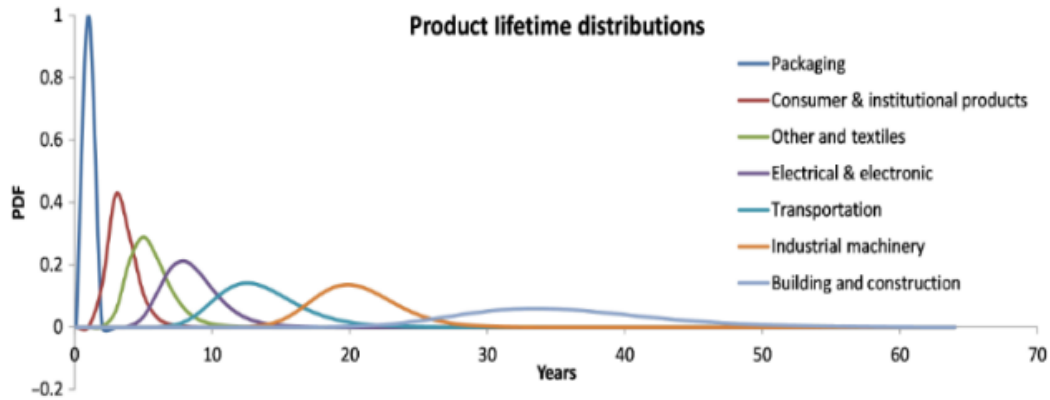


Figura 5: Distribuciones de la duración de vida del producto para los ocho sectores de uso industrial representadas como funciones de distribución de probabilidad log-normal (Letcher, 2020)

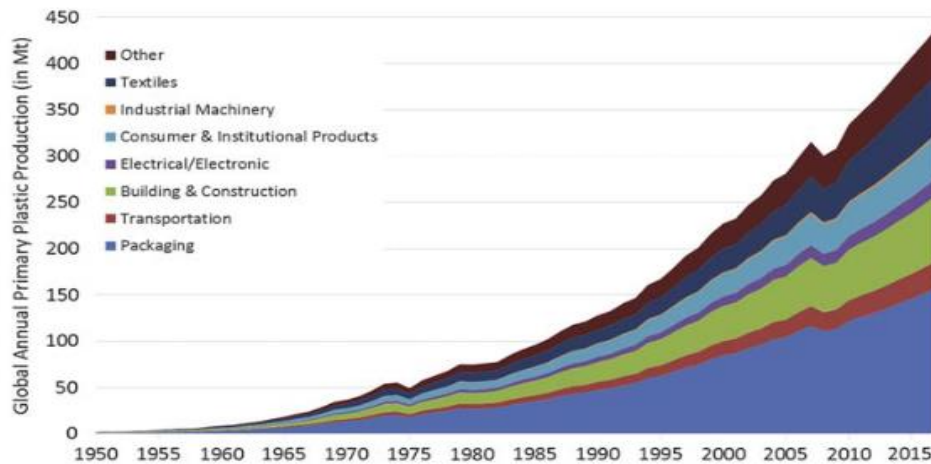


Figura 6: Consumo global del plástico según industria desde el año 1950 al 2015 (Letcher, 2020)

Contrastando la información presentada con la figura 6 que muestra el aumento real del consumo en plásticos surge la pregunta: ¿Es entonces el transporte una oportunidad para recuperar el plástico del ambiente?

Transporte, oportunidades y desafíos

La industria del transporte, además de producir desechos plásticos, es la segunda de las industrias que más CO₂ libera al ambiente, generando 23,96% del total de las emisiones de CO₂ totales debido en gran medida a la combustión de combustible fósil (Solaymani, 2019).

Todas las industrias se relacionan de forma directa o indirecta al transporte, ya sea para obtener recursos o productos de otra empresa o para enviar sus productos a los clientes. Gracias a la globalización actualmente se puede recibir un producto desde cualquier lugar del mundo, lo que facilita el acceso a diversos productos, desde alimento hasta alta tecnología, pero esta globalización requiere de acuerdos y estandarizaciones previas, como por ejemplo con la cantidad de productos que se pueden transportar. Para definir esto se estandarizó la medida de container, pallets y

otros contenedores de transporte. Estos elementos tienen la posibilidad de continuar siendo utilizados por muchos años, aunque esta opción genera una gestión logística inversa más compleja al esquema de desechar (Accorsi et al., 2019).

Pallets

En particular, los pallets deben cumplir con la normativa ISO 445 que define los pallets como “plataformas horizontales rígidas de altura mínima, compatibles con la manipulación mediante transpaletas y/o carretillas elevadoras y otros equipos de manipulación adecuados, utilizados como base para el montaje, carga, almacenar, manipular, apilar, transportar o exhibir mercancías y cargas”. También con la NIMF-15 que certifica los pallets de madera para reducir el riesgo de propagación de plagas y PEF-C que garantiza el nivel de sostenibilidad de la madera utilizada para hacer ese pallet.

Existen diversos tipos de pallet tanto en su materialidad (madera, plástico, metal y compuestos), forma (larguero, bloque, reversible, de dos direcciones, de cuatro direcciones, encajables, entre otros), según

la carga que resisten, según la cantidad de viajes que soportan (Deviatkin et al., 2019a) y según su usabilidad (de exportación, antiderrames, para transportar fruta, etc.).

El uso de un pallet de madera, plástico o metal dependerá de las necesidades del cliente, siendo los más económicos los de madera, los de plástico más ligeros y resistentes y los metálicos más resistentes a la carga. Dependerá también si el modelo logístico es cerrado o abierto (Deviatkin et al., 2019a), con esto los autores se refieren a si el pallet vuelve al sistema o se pierde junto con los productos transportados, referido a esto, por lo general los pallets "desechables" o de un sólo uso tienden a ser los de madera, ya que los pallets plásticos tienden a ser más caros.

Los pallets de madera de un solo uso son fabricados especialmente con esa finalidad, por ende, tienden a ser mucho más livianos que los pallets destinados al uso constante, por ejemplo, un pallet europeo (de medidas 1,2 m x 0,8 m) puede pesar entre 8,4 Kg y 25 Kg según su usabilidad. El valor económico, en este caso, tiene directa relación con la cantidad y calidad de recursos naturales utilizados para la

fabricación del pallet, donde además, su reutilización sugiere un mayor impacto en carbono equivalente que la incineración del mismo (Deviatkin et al., 2019a). Es importante conocer estos datos ya que al comparar un pallet plástico (de larga vida útil) con uno de madera, no es equitativo de comparar con el pallet más liviano, y por ende económico de madera.

Estudios afirman que el mayor impacto en cuanto a huella de carbono de un pallet de madera es en relación con el transporte necesario para garantizar la logística directa e inversa generando alrededor de -26 Kg al terminar su vida útil en el primer uso y 9,9 kg de CO₂ eq CO₂ eq. al reutilizar el mismo. Por otro lado, el pallet de plástico reciclado genera alrededor de 3,7 - 4,1 kg de CO₂ eq., mientras que el de un pallet de plástico convencional fue de 22 kg de CO₂ eq (Deviatkin et al., 2019a). Desde esta perspectiva, un pallet de plástico reciclado, que se reutilizará, puede contaminar más que uno de madera de un solo uso si este se incinera, pero menos que uno de madera destinado a la reutilización.

La primera vez que apareció un pallet, en 1924 y con el nombre de plataforma, ya tenía

ya morfología y usabilidad actual (disponible para levantarlo por un equipo de manipulación adecuado y transportado) (Smith F. H., 1924) y su materialidad es metálica. Por otro lado, el primer pallet plástico se patenta al rededor del 1951 (George E., 1951) y la patente más reciente del pallet, de marzo del presente año es un pallet metálico (Xiaoren QIAN, 2024). A continuación, se muestra una imagen resumida de cada pallet.

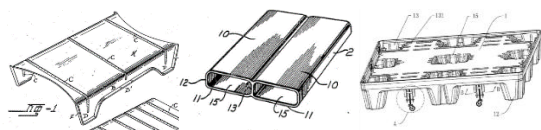


Figura 7: De izquierda a derecha, el primer pallet patentado, el primer pallet plástico patentado y el último pallet patentado. Rescatado de <https://worldwide.espacenet.com/>.

Contexto nacional

En Chile las 3 principales problemáticas medioambientales son la escasez de agua, el aumento de la basura y el calentamiento global como se ve en la figura 7, pese a eso, la percepción popular deja relegado

esta temática al puesto 12 de las cosas que más preocupación le genera a la gente (GfK-NIQ Chile, 2023).

Al no ser una preocupación relevante en la sociedad, prácticas como el separar los desechos domiciliarios y entregarlos en buenas condiciones queda relegado a la voluntad, educación y conciencia de cada persona. Es por esto que el gobierno y las naciones a nivel mundial enfocan recursos anualmente para la educación en cuanto a la sostenibilidad y la concientización del sector empresarial y gubernamental (Gobierno de Chile, 2023).

En cuanto al área empresarial específicamente, una de las iniciativas es la Ley de Responsabilidad Extendida del Productor (Ley REP, figura 9), que busca actuar efectivamente en el abuso de los SUPs en una primera instancia y en el uso responsable de las materias primas y la acción de particulares para la gestión y financiamiento de su correcta disposición final mediante incentivos económicos y fiscalizaciones como muestra la figura 8.

Aun con algunos cambios en los porcentajes de asociación, se mantiene en gran medida el orden de prioridades ambientales, con escasez de agua (-2pp. respecto a 2022) y aumento de basura (-6 pp. respecto 2022) en los primeros lugares



¿Cuáles son los 3 principales problemas medio ambientales de Chile?

	2022	2023
Escasez de agua	71%	69%
Aumento de basura	53%	47%
Calentamiento global	37%	39%
Deforestación	36%	38%
Expansión urbana	25%	29%
Contaminación atmosférica	32%	25%
Pérdida de biodiversidad	17%	15%
Degradación del suelo	8%	12%
Sobrepesca	8%	11%

Figura 8: Principales problemáticas medioambientales en Chile (GfK-NIQ Chile, 2023)



Figura 9: Diagrama de flujo que propone la Ley REP

Pregunta de investigación

¿Cómo contribuye el desarrollo de pallets de plástico reciclado en la reducción del impacto ambiental y la mejora de la sostenibilidad operativa en las regiones de Valparaíso y Metropolitana de Chile al rescatar materiales que actualmente van al vertedero?

Sostenibilidad operativa se entiende como el conjunto de acciones y decisiones dentro de una empresa encaminadas a generar sostenibilidad dentro de ella (Pérez, 2024).

Objetivos

Objetivo general

Valorizar residuos industriales mediante su captación en un pallet competitivo en el mercado industrial en las regiones de Valparaíso y Metropolitana de Chile para disminuir el plástico circundante.

Objetivos específicos

1. Estudiar los desechos industriales plásticos disponibles en la región.
2. Estudiar los pallets existentes y los más utilizados por la industria de la V región.
3. Analizar la resistencia mecánica del material seleccionado.
4. Desarrollar un prototipo funcional de un palet con el material analizado.
5. Estudiar y comparar las emisiones de CO₂ del producto final con pallets convencionales.

Justificación del proyecto

Los ODS se tomaron como referencia para definir los objetivos en esta tesis, los más

relevantes en este trabajo son el ODS 9 - Industria, innovación e infraestructura ya que está centrado en desarrollar un producto sostenible fabricado y utilizado por el sector industrial para reducir la cantidad de plástico en circulación, comenzando en dos regiones del país y esperando que esta iniciativa se expanda mundialmente (ODS 12 - Producción y consumo responsables), con esto, al disminuir el uso de plástico virgen, disminuyendo así las emisiones de CO₂, lo cual es una de las intervenciones cruciales para combatir el cambio climático (ODS 13 - Acción por el clima), además, es importante destacar que alrededor de un 85% de la basura submarina corresponde a plástico en alguna de sus formas (ONU, 2021), incluso formando islas que pueden alcanzar una superficie de alrededor de 3 veces nuestro país (ODS 14 - Vida submarina), mientras en la tierra se acumula en vertederos, tanto legales como ilegales y otros lugares en el ambiente terrestre (ODS 15 - Vida de ecosistemas terrestres) (Objetivos de Desarrollo Sostenible, 2015), este desarrollo propone rescatarlo y utilizarlo en productos de mediana o larga vida útil.

En cuanto a la decisión de utilizar el pallet como producto a desarrollar, se vislumbró

una oportunidad ya que es un producto altamente utilizado en el mundo, del cual se prevee aumento en su consumo, es de carácter masivo y su usabilidad permite y requiere en muchos casos, de material plástico, por otro lado, la mayor cantidad del mercado corresponde a pallets de madera, aun así cuando estudios afirman que sólo cuando un pallet de madera es incinerado con el equipo adecuado al llegar a destino es más sostenible que un pallet plástico, cuando se reutiliza deja de ser más sostenible (Deviatkin et al., 2019a). Por otro lado, la madera más allá de generar una alta huella hídrica (Hussain Khan et al., 2021) es negativa debido al monocultivo, lo que empobrece el suelo propiciando catástrofes como los incendios, problemática que se ve en incremento los últimos años (Barquín et al., 2022).

Otra opción a los plásticos y la madera son los plásticos biodegradables, los cuales son una solución efectiva en cuanto a disminuir el impacto en el medioambiente en forma de volumen, pero aun así promueven la generación de microplásticos que por lo general requieren de condiciones especiales para su descomposición (Haider et al., 2019).

Es sabido que en cuanto al plástico virgen, este genera una gran huella de carbón en el ambiente y es un material no renovable y su valor actualmente tiende al alza debido a dos factores: la baja disponibilidad de resinas vírgenes a nivel global, y el alto valor logístico (ASIPLA, 2023), el plástico reutilizado aumenta la huella de carbón debido al transporte y el pre procesamiento pero recupera material de los vertederos y evita que el plástico entre en contacto con los recursos naturales, que luego de un tiempo genera micro plásticos lo cual llega a generar contaminación del ADN de animales, como los peces y hasta de los seres humanos (Smith et al., 2018).

METODOLOGÍA

El Double Diamond (doble diamante) es una representación visual del proceso de diseño e innovación. Es una forma sencilla de describir los pasos dados en cualquier proyecto de diseño e innovación, independientemente de los métodos y herramientas utilizados (British Design Council, 2005). La traducción al español de los pasos de esta metodología son Descubrir, Definir, Desarrollar y Entregar. Se seleccionó este modelo para trabajar en este proyecto por la flexibilidad del uso de herramientas, esto permite que el proceso de diseño tenga la libertad necesaria para profundizar en lo que se requiera y defina, sobre todo en el área de la sostenibilidad, donde las etapas de descubrir y desarrollar son a veces inciertas. La figura 10 muestra cada etapa con su respectiva herramienta a utilizar.

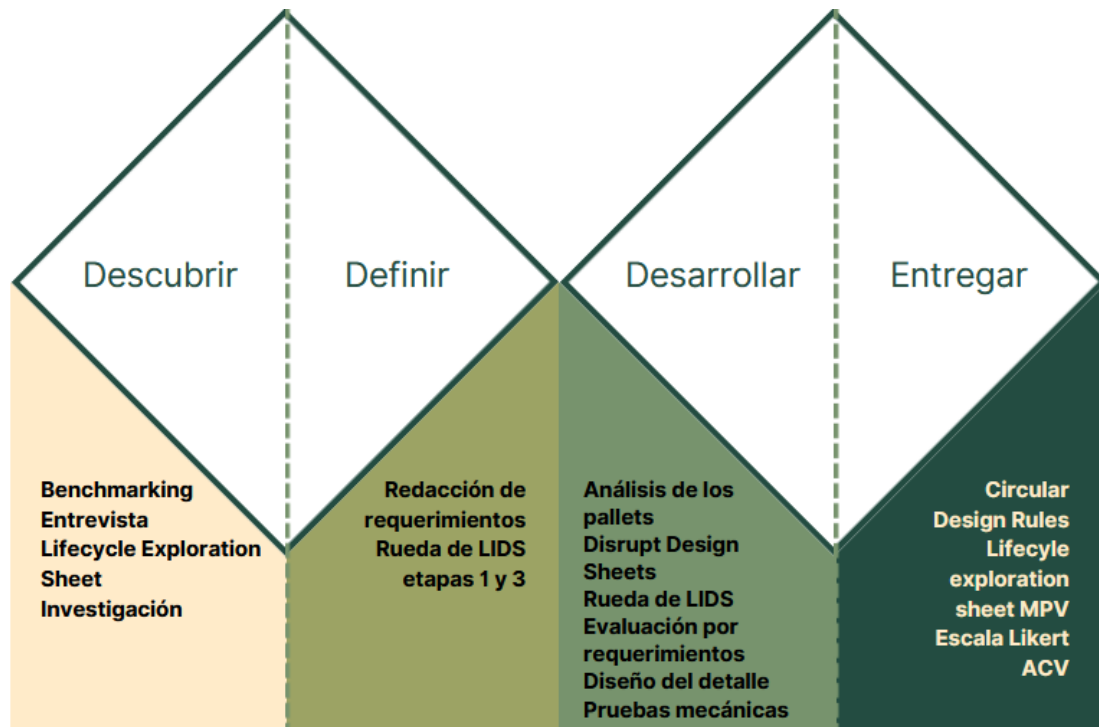


Figura 10: Representación gráfica del modelo doble diamante incluyendo las herramientas a utilizar. Elaboración propia

En orden, se define cada etapa de la siguiente forma:

Descubrir

El primer diamante ayuda a la gente a entender, en lugar de simplemente asumir,

cuál es el problema. Impone hablar y pasar tiempo con personas que se ven afectadas por los problemas. En esta etapa se trabajan los objetivos 1 y 2, buscando tener un panorama global de lo que se tiene y lo que se requiere en el mercado, intentando encontrar la mejor oportunidad de desarrollo,

a la vez, recopilando información útil para las etapas siguientes. En esta etapa se utilizan las herramientas de:

Benchmarking de pallets con enfoque sostenible

Benchmarking es el análisis de estrategias, funciones, procesos, productos o servicios, desempeños, entre otros, de las mejores organizaciones mediante un adecuado proceso de recopilación de datos para evaluar el estado actual de un proyecto u organización y así implementar las mejoras o estándares necesarios (Anand & Kodali, 2008). En este punto se realizará una evaluación de los pallets disponibles para la industria chilena, ahondando en el valor comercial, tipo de material, características físicas y mecánicas para sintetizar en recomendaciones de requerimientos al proyecto.

Entrevista

Entrevistar al menos 2 empresas del sector para recoger información sobre la composición de sus desechos plásticos, sobre cómo utilizan los pallets y los

requerimientos específicos que posean sobre estos.

Lifecycle exploration sheet

Es una herramienta enfocada en mapear las etapas de un producto, desde su fabricación hasta el fin de su vida útil permitiendo identificar la posibilidad de reciclaje, reutilización y extensión de su vida útil. Se aplicará esta herramienta con la finalidad de identificar las áreas a mejorar en las empresas entrevistadas.

Estudio sobre los materiales poliméricos

Ahondar en el conocimiento de los materiales, descubrir sus similitudes y diferencias y así poder seleccionar el más adecuado para el proyecto.

Estudio sobre los procesos de fabricación de artículos plásticos

Conocer en profundidad los tipos de elaboración de artículos plásticos para

seleccionar el más adecuado para el proyecto.

Definir

La información obtenida de la fase de descubrimiento puede ayudarle a definir el desafío de una manera diferente. A raíz de la información teórica se busca definir los requerimientos específicos para el desarrollo de un pallet sostenible con oportunidades de entrar al mercado regional. Las herramientas principales son

Redacción de requerimientos

A partir de la investigación y de las entrevistas se genera una lista de requerimientos básicos para el óptimo cumplimiento del producto a desarrollar.

Rueda de LIDS: Etapa 1

Las siglas LIDS vienen del inglés “life cycle design strategy” que en español significa diseño según la estrategia de ciclo de vida, es una de las herramientas del ecodiseño que evalúa cualitativamente el impacto del re-diseño de un producto (Sanchis Gisbert,

2022). Esta herramienta consta de 8 etapas las cuales se ven en la figura 11.



Figura 11: Diagrama de la Rueda de LIDS (Sanchis Gisbert, 2022)

La etapa 1 de La Rueda de LIDS consta de las recomendaciones para la selección de materiales (Sanchis Gisbert, 2022), lo que para este trabajo se tomó como guía para la selección del material.

Rueda de LIDS: Etapa 3

La etapa 3 de La Rueda de LIDS, la cual da recomendaciones para optimizar las técnicas de producción (Sanchis Gisbert, 2022) se utilizó como guía para la selección

y caracterización del proceso productivo de la fabricación del pallet.

Desarrollar

El segundo diamante ayuda a dar diferentes respuestas al problema claramente definido, buscando inspiración de otros lugares. En esta etapa del proyecto se relaciona con los objetivos 3 y 4, las herramientas a utilizar son:

Disrupt Design: Hoja de trabajo 4

Disrupt Design es un método con enfoque en comprender, desarrollar y resolver problemas complejos de sostenibilidad mediante el diseño, consta de 6 etapas, mencionadas como hojas de trabajo, la hoja 1 involucra comprender un sistema lineal a través de una exploración del pensamiento del ciclo de vida del producto, la hoja 2 busca identificar áreas de intervención que podrían adoptarse con este modelo actual, la hoja 3 sirve para explorar estrategias comerciales circulares, la hoja 4 es para analizar opciones de rediseño sostenible y luego idear una serie de propuestas que, la hoja 5 para que puedan convertirse en un nuevo flujo circular y, finalmente, la hoja 6 sirve

para hacer una evaluación rápida de la viabilidad del producto para ver qué tan viable es la nueva solución circular (Acaroglu Leyla, 2020). En particular, se usó la Hoja de trabajo 4 para guiar el desarrollo de conceptos de diseño para la fabricación de un pallet sostenible.

Rueda de LIDS (completa)

Realizar la Rueda de LIDS completa, explicada anteriormente, por cada concepto para profundizar en la información de cada desarrollo.

Pruebas mecánicas

Se realizarán ensayos de tracción (norma ASTM D638-10), flexión (norma ASTM D790-17), densidad (norma ASTM D792-20) y fluidez (norma ASTM D1238-20). En esta parte de la metodología se trabaja el objetivo 3.

Prototipado

Impresión 3D para uniones y detalles, modelado 3D para pruebas físicas iniciales.

Encuesta y escala Likert

Encuesta a usuarios de pallets para evaluar el prototipo utilizando la escala de Likert, la escala Likert es una herramienta utilizada para conocer el grado de conformidad sobre un producto o servicio en el cual se presentan una serie de afirmaciones donde la persona dice estar de acuerdo o no con lo que se afirma, en este caso se utilizó una puntuación de 1 a 5.

Análisis de Ciclo de Vida

Análisis de ciclo de vida de un pallet de madera para tener un parámetro de evaluación del proyecto y lineamientos en los cuales trabajar, se cuenta, para esta etapa, con el software facilitado por la empresa Beloop. En esta etapa se trabaja el objetivo 5.

Entrega

La entrega implica probar diferentes soluciones a pequeña escala, rechazar aquellas que no funcionarán y mejorar las que lo harán. En esta etapa se considera el punto 4, se desarrollará un MVP y se utilizarán las siguientes herramientas:

Circular Design Rules

Evaluación completa del diseño con la herramienta digital Circular Design Rules (Gründl & Ullrich, 2021) con la finalidad de afinar el mejor concepto. Se eligió esta herramienta debido a la facilidad de evaluación y a lo concreto de los resultados obtenidos, señalando específicamente qué es lo que hay por mejorar. La evaluación se divide en 3 categorías, que a su vez se dividen en 3 más de la siguiente forma:

- 1) Material
 - a) Reciclado
 - b) Reciclabilidad
 - c) Reducción
- 2) Componentes
 - a) Separabilidad
 - b) Modularidad
 - c) Actualizable
- 3) Servicio
 - a) Retornable
 - b) Reutilizable
 - c) Servicio

Cada sección se puntúa según la respuestas a las preguntas en esta aplicación web de forma fácil y didáctica.

Lifecycle exploration sheet

Aplicación de la “lifecycle exploration sheet” explicada anteriormente, al producto final para evaluar la propuesta y analizar los puntos que aún quedan por mejorar.

Fabricación de un MVP

Teniendo ya todos los detalles resueltos se realizará un MVP con la finalidad de evaluar los procesos de fabricación, aunque sea en escala artesanal en una primera instancia, y adquirir un producto que permita la evaluación de la resistencia y su peso para evaluar el costo económico. En esta parte de la metodología se trabaja el objetivo 4.

Análisis de Ciclo de Vida

Análisis de ciclo de vida genérico al producto final y comparación con el análisis previo.

Análisis Costo-Beneficio

Estudiar el costo final del producto puesto en el mercado, evaluar su posicionamiento en el mercado según lo que se estudió.

Capítulo 1: Descubrir

En esta etapa se busca explorar las posibilidades y ahondar en la información existente, para esto se utilizó la herramienta de benchmarking con enfoque en la sostenibilidad, entrevista a usuarios de pallets, lifecycle exploration sheet y un estudio en profundidad sobre el material polimérico.

Benchmarking pallet sostenible

Objetivos: Conocer el estado actual sobre la sostenibilidad en relación con los pallets, su peso, materialidad, lugar de origen, valor comercial, propiedades mecánicas y físicas, tipo y cualidades del pallet (modular, reparable, encajable, etc).

Se tomó una muestra genérica de internet que representa la oferta a la que una persona en Chile puede acceder. El modelo completo se puede visualizar en el Anexo 2, a continuación, las conclusiones del benchmarking:

De los 6 pallets analizados 2 corresponden a madera, uno a una mezcla de coco con lignina (orgánico biodegradable) y 3 a plástico. Las características más destacables fueron el porcentaje de ahorro

de espacio en los pallets encajables, donde el “CocoPallet” se destaca ahorrando hasta un 70% de espacio. El peso de los pallets plásticos no supera los 6.2 kilogramos. Sólo los pallets de madera tienen la capacidad de reparación. Ningún pallet indica la vida útil, pero por estudios previos se asume que los de madera resisten de 5 a 25 viajes y los de plástico de 40 a 120 (Zhang et al., 2023). En cuanto a valor comercial, un pallet de madera usado puede llegar a costar \$2.900 y uno de plástico \$3.900, un pallet nuevo de plástico tiene un valor mínimo de \$19.400. Generalmente se vende en dimensiones estándar, sólo el pallet de plástico reciclado es la mitad de la dimensión estándar y el CocoPallet es personalizable.

Entrevistas

Se realizó una entrevista semi estructura individual con el objetivo de profundizar en el conocimiento sobre el panorama local del uso de pallets y sobre los desechos industriales en las regiones de Valparaíso y Metropolitana. Las empresas entrevistadas fueron Soprole y Fosko, se continúa gestionando la tercera entrevista. La entrevista se basa en 5 temas generales de

los cuales se desprenden las siguientes preguntas:

1. Sostenibilidad
 - 1.1. ¿Cuáles son las políticas y estrategias de la empresa en materia de sostenibilidad y gestión de residuos?
2. Manejo de residuos
 - 2.1. Coméntame sobre el tipo y la cantidad de residuos en tu empresa
 - 2.2. ¿Cuál es el material más difícil de manejar?
 - 2.3. ¿Cuáles son las prácticas de gestión de residuos implementadas en tu empresa, en qué porcentaje reciclan, reutilizan y/o desechan? ¿Cuáles son sus proyecciones al respecto?
3. Logística de pallets
 - 3.1. ¿Cuál es la rotación y vida útil de los pallets? (estimado si no tiene un valor concreto).
 - 3.2. ¿Existe sistema de trazabilidad?, ¿puedes explicarlo brevemente?
4. Uso de pallets
 - 4.1. ¿Tienen algún requerimiento especial para la selección de un pallet? Por ejemplo, peso máximo soportado, tiempo de transporte o

- distancia recorrida por el pallet, condiciones climáticas a las que se exponen, necesidad de tratamientos fitosanitarios, normativas específicas que deben cumplir.
- 4.2. ¿Los pallets son reparables y/o reutilizables?
5. Ciclo de vida de pallets
- 5.1. Coméntame sobre la inversión en tecnologías o prácticas innovadoras para la gestión de pallets
- 5.2. ¿Cuál es la percepción de la empresa sobre la responsabilidad social y ambiental en la cadena de suministro? (cadena de suministro referida al conjunto de actores, actividades y procesos involucrados en el ciclo de vida de un pallet, desde su producción hasta su disposición final)

Fosko: Empresa dedicada a la fabricación de envases plásticos enfocada en la innovación, la mejora continua y preocupación por el medioambiente.

Soprole: empresa dedicada a la venta de productos lácteos que busca fabricar productos saludables mediante la innovación con enfoque medioambiental.

En el ANEXO 1 está la transcripción de cada entrevista, las cuales se resumen en la figura 12, ambas empresas no poseen sistema de trazabilidad en cuanto a los pallets, Soprole tiene un esquema de reutilización de pallets mientras que Fosko no, Soprole requiere de pallets que soporten a lo menos 900 kg de carga y Fosko sólo 200.



Figura 12: Esquema resumen de entrevistas. Elaboración propia

Lifecycle exploration sheet

Se utilizó la hoja de exploración del ciclo de vida para evaluar el pallet actual de forma que se evidencien los actuales aportes ecológicos y se puedan comparar con el desarrollo futuro. La información se completó con las entrevistas realizadas a Fosko y Soprole además de la información recopilada del benchmarking. Ambas hojas de trabajo se encuentran en el Anexo 3.

En cuanto al análisis de esta herramienta se evidencia una oportunidad en las áreas de reciclaje, extensión de vida útil y uso prolongado.

Se realizó un primer acercamiento a la evaluación del futuro pallet con las problemáticas evidenciadas en entrevistas e investigación guiada por el benchmarking como se muestra en la figura 13.

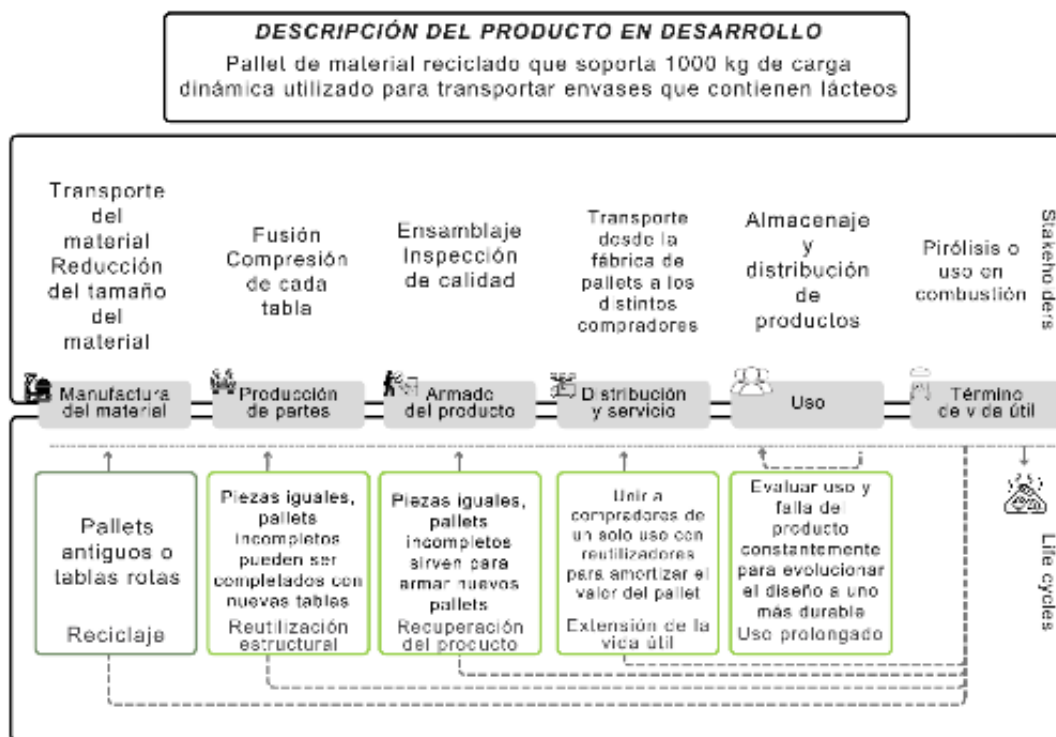


Figura 13: Aplicación de la “Lifecycle exploration sheets” a un primer acercamiento del funcionamiento del pallet a desarrollar

Investigación del material

Polímeros

Continuando con la investigación del material, los polímeros se clasifican en naturales, semisintéticos y sintéticos (Zúñiga

D et al., 2023), estos últimos representan alrededor del 99% y se sintetizan a partir de fuentes no renovables (Fagnani et al., 2022). Estos polímeros se pueden diferenciar por su estructura molecular: los homogéneos, que contienen enlaces carbono-carbono como el polipropileno (PP), y los

heterogéneos, donde estos enlaces se interrumpen con átomos de otros elementos como el oxígeno o el nitrógeno. Un ejemplo de un polímero heterogéneo es el PVC, que incluye átomos de cloro. Esta clasificación aplica tanto a homopolímeros, formados por un solo tipo de molécula, como a copolímeros, que se componen de diferentes tipos de moléculas (Pandey et al., 2023).

Además, los polímeros sintéticos se categorizan según su naturaleza química y su método de síntesis (Pandey et al., 2023), correspondiente a la conocida clasificación de plásticos que se utiliza al momento de reciclar como se muestra en la figura 14, los cuales son tereftalato de polietileno, polietileno de alta densidad, cloruro de polivinilo, polietileno de baja densidad, polipropileno, poliestireno y otros.



Figura 14: clasificación de los plásticos utilizada para facilitar el reciclaje (Circula El Plástico, 2021)

Los polímeros también se clasifican según su respuesta a la temperatura, en dos grandes grupos: termoplásticos y termoestables (Ana Botet, 2019). Los termoplásticos, como el tereftalato de polietileno y el polipropileno, pueden fundirse y moldearse repetidamente sin perder sus propiedades iniciales gracias a su estructura unidimensional de alto peso molecular. En cambio, los polímeros termoestables, que incluyen materiales

como las resinas EPOXI y fenólicas, requieren la ruptura de sus estructuras moleculares para ser moldeados, lo que complica su reciclaje y altera sus propiedades originales (Ana Botet, 2019).

Finalmente, al convertirse en desechos, los plásticos se pueden clasificar por tamaño. Los macroplásticos tienen un diámetro mayor a 20mm, mientras que los microplásticos, menores a 5mm, se dividen

en primarios, fabricados intencionalmente a ese tamaño, y secundarios, resultantes de la erosión de los macroplásticos (Pandey et al., 2023) y nanoplásticos definidos como partículas menores a 1 μm (Smith et al., 2018).

Uso del plástico en Chile

Como se ve en la figura 15, la industria que más utiliza plástico en Chile es la de envases

y embalajes consumiendo más de 650.000 toneladas el año 2022 siendo el “PE” y “Otros” los materiales más utilizados (ASIPLA, 2023), lo mismo sucede en Europa con el tipo de producto, como se menciona en la figura 16 con la diferencia de que en Europa ya han avanzado a disminuir la producción de artículos categorizados en “otros plásticos”.

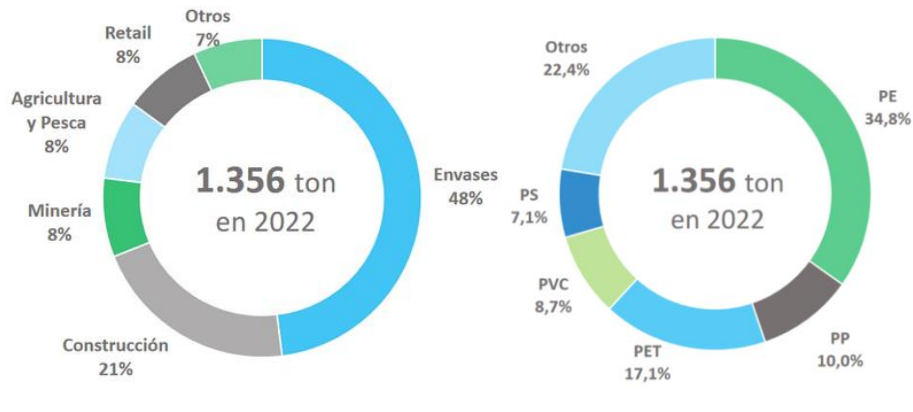


Figura 15: A la izquierda el uso por rubro en Chile de material polimérico, a la derecha el uso por tipo de polímero en Chile (ASIPLA, 2023)

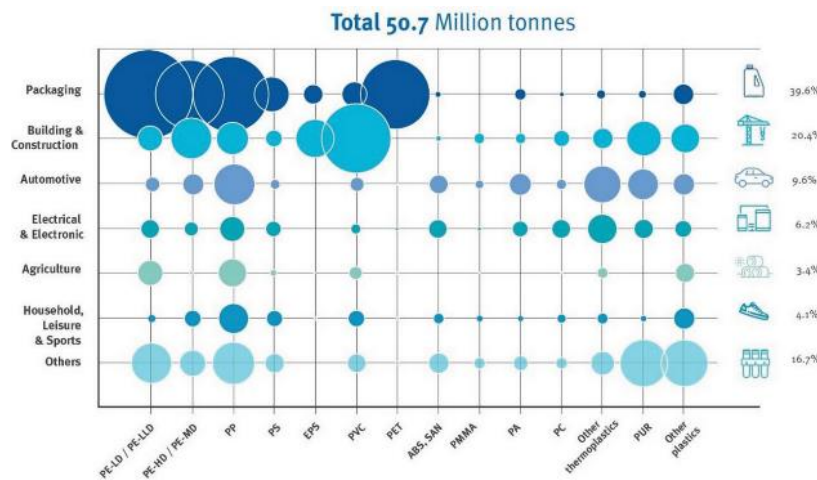


Figura 16: Diagrama uso de materiales plásticos por rubro y material en Europa (Mangold & von Vacano, 2022)

Desafíos actuales

En Chile, la gestión de residuos plásticos enfrenta retos significativos, marcados por la dificultad en categorizar y reciclar ciertos materiales. Empresas como Triciclos, que lideran la gestión de residuos en el país, han limitado sus operaciones al reciclaje de plásticos específicos como PET, PEAD, PEBD y PP rígido. Sin embargo, muchos artículos comunes como pots de yogurt, botellas de aceite y empaques de medicamentos no entran en estas categorías y son excluidos del proceso de

reciclaje, lo que representa más del 38.2% de los plásticos (Triciclos, s. f.).

En cuanto al impacto ambiental, la mayoría de los plásticos desechados terminan en entornos naturales, causando daños significativos a la vida silvestre y los ecosistemas. Esta problemática resalta la necesidad urgente de revisar y mejorar las estrategias de reciclaje existentes.

La baja tasa de reciclaje global, que apenas alcanza el 10% a nivel mundial, se atribuye principalmente a los elevados costos de selección, limpieza y transporte de los

residuos plásticos (Li et al., 2022). Estos factores económicos representan barreras significativas que limitan la capacidad de los gestores de residuos para expandir sus operaciones de reciclaje.

En Europa, a diferencia de Chile y Latinoamérica se ha progresado en la reducción de la producción de artículos clasificados como "otros plásticos" produciendo actualmente sólo un 4% de productos con esta denominación en el 2017 (Letcher, 2020), lo que sugiere que las políticas y tecnologías aplicadas en Europa podrían servir como modelo para Chile. La adopción de tecnologías avanzadas y la implementación de políticas más estrictas podrían mejorar significativamente el panorama del reciclaje en Chile.

En conclusión, es crucial adoptar un enfoque práctico y realista que considere tanto los desafíos técnicos como económicos en la situación actual del reciclaje en Chile y en todo el mundo. Las lecciones aprendidas de otros contextos internacionales podrían ser clave para diseñar estrategias más efectivas y sostenibles que aumenten las tasas de reciclaje y minimicen el impacto ambiental de los residuos plásticos.

Investigación del proceso productivo

En el contexto de la industria del plástico, los métodos de fabricación más reutilizados son la extrusión, que es ideal para producciones largas y continuas, el moldeo por inyección es mejor para detalles finos y complejos, y el moldeo por compresión es óptimo para productos grandes y robustos. Sistemold aportó con la información sobre estos 3 tipos de fabricación:

Extrusión

El proceso de extrusión es usado en la fabricación de plásticos para realizar piezas con perfiles constantes como los tubos. El proceso consta en que la materia prima se funde y se fuerza a través de una boquilla con una forma específica para formar la sección deseada.

Su principal ventaja es la capacidad de generar producciones continuas y rápidas, lo que reduce los costos de mano de obra y fabricación por unidad producida.

Moldeo por Inyección

Este proceso se basa en inyectar material plástico fundido en un molde cerrado bajo alta presión. Sus grandes ventajas son la precisión y la eficiencia en cuanto al material, pudiéndose aprovechar la mayor parte de la materia prima empleada para la producción.

Moldeo por Compresión

En este proceso el material plástico se coloca en un molde abierto que se cierra bajo presión, forzando al material a tomar la forma del molde.

Entre sus ventajas destaca el bajo precio de la implementación y la alta durabilidad de sus componentes en comparación al moldeo por inyección, también se destaca por ser el proceso más utilizado en piezas que requieren resistencia a la compresión.

Actualidad en Chile

En cuanto a los avances a nivel país, el compromiso con la sostenibilidad en la producción de plásticos ha llevado a la adopción de técnicas innovadoras que favorecen el uso de materiales reciclados.

Entre estas técnicas, la extrusión de material plástico reciclado destaca por su eficiencia en la transformación de plásticos recuperados en nuevos productos. Esta técnica no solo contribuye a la reducción de residuos, sino que también optimiza el uso de recursos, alineándose con las políticas nacionales de economía circular. Además, se está avanzando hacia la adopción de procesos aún más eficientes como la extrusión-compresión (Gobierno de Chile, 2023), que combina los beneficios de la extrusión con la versatilidad de la compresión para producir artículos de plástico de alta calidad y resistencia.

Capítulo 2: Definir

Requerimientos

1. Se espera que el pallet cumpla con la normativa ISO 445 de pallets, la norma fitosanitaria ISPM 15 no aplica debido a que los polímeros y resinas no son atacados por plagas.
2. Que resista 1000 kilos de carga dinámica.
3. Que el material se componga al menos en un 50% de material reciclado.
4. Que, al ser transportado en vacío ahorre al menos un 50% de espacio.
5. Que sea replicable (que la infraestructura de fabricación sea asequible para cualquier lugar del país, tanto en el reciclaje como en la fabricación misma).
6. Que sea reparable y reacondicionable.
7. Que sea personalizable (para que cumpla las necesidades de cada cliente).
8. Que sea compatible con las herramientas de manipulación como grúas horquilla, palletizadoras y despalletizadoras, transelevadores, entre otras.

Dimensiones mínimas y máximas

Ampliando el punto 10, las herramientas y máquinas que generalmente manipulan los pallets son montacargas (Forklifts), transpaletas, apiladores, carretillas elevadoras (Reach Trucks), sistemas de transporte (Conveyors), robots de almacenamiento y recuperación, mesas elevadoras, cargadores y descargadores automáticos, empacadoras y desempacadoras, mesas rotativas, entre otros, para cada una de estas herramientas existen una gran variedad de marcas, modelos y tipos, pese a esto se tomaron las características más relevantes para el diseño actual lo que se resume en los siguientes puntos (ver figuras 17 y 18):

1. Taco interior: 260 mm máximo (limitado por el tamaño de la transpaleta)
2. Distancia entre taco externo-interno: 150 mm mínimo (limitado por el tamaño de la transpaleta)
3. Distancia entre tacos externos: 685 mm mínimo (limitado por el tamaño de la transpaleta)
4. Altura de taco: 85 mm mínimo (limitado por el tamaño de la transpaleta)
5. Patines de alrededor 100 mm de ancho (requerido por sistemas de automatización)

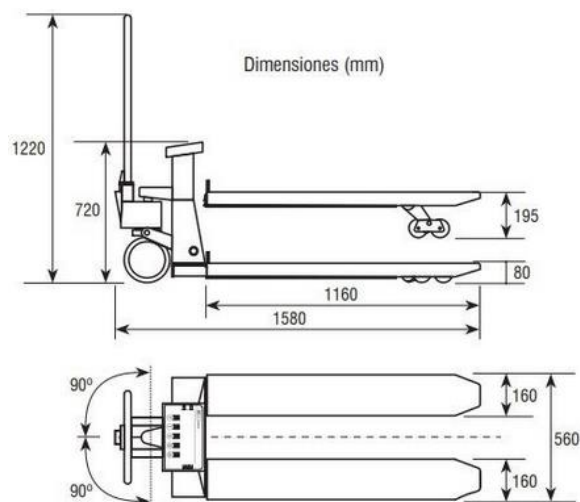


Figura 17: dimensiones generales de una transpaleta. Recuperado de www.tymbia.com



Figura 18: Sistemas de automatización y uso del pallet. Recuperado de www.tecelec.com

Selección de materiales potenciales

En Chile se reutiliza material de envases y embalajes para fabricar bines y pallets plásticos (MMA, s. f.) esta memoria busca contribuir desde una arista no convencional y que sea un aporte para el medioambiente, por eso, en una primera instancia, se evaluará el uso de materiales actualmente no reciclados en el país, como envases de yogurt con etiqueta pegada, botellas plásticas de aceite y mayonesa, plumavit (Triciclos, s. f.) y desechos de procesos de reciclaje.

El pote de yogurt post consumo con etiqueta e incluso el material de desecho de las papeleras (sólo etiquetas con pegamento) son un material confiable y reciclable ya que en Sistemold ya se han hecho pruebas para procesos de inyección.

Por otro lado, existen patentes relacionadas al reciclaje de botellas plásticas contenedoras de aceite (TIANJIN, 2020), lo que significa que ya existe este tipo de tecnología pero quizás no es de fácil

aplicación o hay barreras económicas que impiden ese avance.

Cabe destacar que esta tesis no profundiza en procesos rebuscados de valorización, ya que se busca generar un impacto real en la industria del plástico y del medioambiente.

Los dos materiales controversiales y disponibles para Sistemold son los envases de yogurt y los desechos de la papelería. Para la selección del material se aplicará la etapa 1 de la rueda de LIDS resumida en la tabla 1 a continuación.

Rueda de LIDS: Etapa

Tabla 1: Estudio del material con la Rueda de LIDS

Recomendaciones	Material post consumo de yogurt	Material de descarte de las papeleras
Eliminar el uso de materiales peligrosos y contaminantes.	No se cumple debido a que muchos pots de yogurt contienen tinta o etiquetas con tinta, sustancia que se considera peligrosa en temperaturas sobre los 200°C (Lisiecki et al., 2024)	no se cumple el primer punto debido a lo variables que pueden ser las etiquetas, aún existen algunas con contenido tóxico (Lisiecki et al., 2024)
Evitar elementos que dañan la capa de ozono.	Si se cumple	Si se cumple
Priorizar el uso de materias primas y componentes renovables que requieran bajo consumo energético para su producción.	El material debe ser transportado, lavado, molido y secado para entrar a un ciclo muy básico de fabricación.	Este material, al ser el descarte del reciclaje de cartón ya fue lavado, se contabilizaría entonces el transporte y el molido para entrar a un ciclo muy básico de fabricación
Utilizar materiales reciclables o provenientes de reciclaje para fomentar la sostenibilidad	Si se cumple	Si se cumple

Desde una perspectiva ambiental ambos materiales poseen características similares, pero por parte de lo económico, el hecho del

material de las papeleras no necesitar el paso de lavado ahorra tiempo y dinero para la empresa valorizadora, razón por la cual en

este punto se decide trabajar con este material.

Disponibilidad del material

Actualmente los entes gestores no están recibiendo yogurt post consumo (Triciclos, s.f.) (ReSimple, s.f.), lo que genera incerteza sobre la cantidad de material que se pudiese recuperar con estas características. Por otro lado, las empresas papeleras generan mensualmente descarte de la hidropulper, se estudió el informe de sostenibilidad de la empresa CMPC para

evaluar el volumen específico de material en la figura 20, el ítem “Rechazos de pulper” indica que en el año 2023 se generó 44.915 toneladas de material, no se menciona específicamente cómo están tratando actualmente estos desechos (CMPC, 2023). Por otro lado, se comenta en la figura 21 que 276.755 toneladas de material fueron eliminadas en forma de deposición en el sitio o relleno sanitario. En la figura 19 se identifica que la fabricación de pastas de madera, papel y cartón son la segunda mayor fuente de desechos industriales luego del manejo de la electricidad,

Generación de residuos industriales no peligrosos, por sector económico (2021)



Figura 19: Generación de residuos industriales no peligrosos por sector económico. (Ministerio del Medio Ambiente, 2023)

Residuos peligrosos y no peligrosos (toneladas)

GRI (306-3)

Categoría	2021	2022	2023
Residuos peligrosos			
Hidrocarburos	1.403	1.171	1.137
Mezclas	777	824	1.669
Químicos	1.410	1.423	2.018
Solventes	270	203	178
Otros	2.778	1.181	3.772
Total	6.638	4.802	8.775
Residuos no peligrosos			
Asimilable a domiciliario	15.363	13.154	11.855
Lodos	824.805	802.177	970.336
Madera	143.761	161.868	199.725
Metal	7.201	8.479	12.052
Papel y cartón	58.942	52.733	57.914
Plásticos	5.802	5.640	5.744
Rechazos de pulper	48.628	43.378	44.915
Residuos de caustificación	242.962	255.553	345.659
Residuos de combustión	110.888	122.752	126.057
Residuos de personal care	5.056	4.116	4.441
Subproductos de madera	744.373	1.334.977	1.279.285
Otros	20.055	23.181	38.478
Total	2.227.836	2.826.008	3.096.463
Total de residuos	2.234.474	2.830.810	3.105.238

Fuente: Gerencia de Sostenibilidad.

Figura 20: Residuos peligrosos y no peligrosos en toneladas para los años 2021, 2022 y 2023 (CMPC, 2023)

Método de tratamiento de residuos no peligrosos (toneladas)

GRI (306-4; 306-5)

Categoría	2021			2022			2023		
	Interno	Externo	Total	Interno	Externo	Total	Interno	Externo	Total
Valorización									
Reutilización	0	4.664	4.664	0	58.796	58.796	77.710	0	77.710
Reciclaje	43.241	135.638	178.879	617.743	143.321	761.064	601.249	179.753	780.650
Compostaje	175.022	180.197	355.219	171.271	169.640	340.911	151.074	428.692	579.765
Aplicación en suelo	75.873	290.006	365.879	83.594	323.606	407.200	82.825	400.495	483.320
Valorización energética	648.374	246.872	895.246	595.543	314.840	910.383	609.750	287.867	897.616
Total	942.510	857.377	1.799.887	1.468.151	1.010.203	2.478.354	1.522.609	1.296.807	2.819.060
Eliminación									
Incineración	0	151	151	0	28	28	626,04	0	626,04
Relleno sanitario	0	392.566	392.566	0	315.365	315.365	0	260.787,37	260.787,37
Disposición en sitio	35.231	0	35.231	32.261	0	32.261	15.987,99	0	15.987,99
Total	35.231	392.717	427.948	32.261	315.393	347.654	16.614,03	260.787,37	277.401,40
Total									
Total no peligrosos	977.741	1.250.094	2.227.835	1.500.412	1.325.596	2.826.008	1.539.223,26	1.557.594,56	3.096.465

Fuente: Gerencia de Sostenibilidad.

Figura 21: Método de tratamiento de residuos no peligrosos en toneladas para los años 2021, 2022 y 2023 (CMPC, 2023)

Debido a la certeza de la adquisición del material, los descartes de la hidropulper son el material seleccionado para trabajar en esta memoria.

Caracterización del material

Por norma general, y por conveniencia de la empresa, el material relacionado a la pulpa

de papel no debe superar el 20%, un 70% a plásticos diversos y un 10% a otros materiales. Dentro del 70% de materiales plásticos se encuentran etiquetas, pegamento, film de embalaje, las cintas de papel, scotch y residuos que pudiesen haber en las cajas. En la figura 22 se ve una aproximación a lo que es el desecho de una hidropulper.

Composición de los materiales impropios del papel recuperado en una fábrica de papel ondulado. La calidad de los papeles recuperados procesados es principalmente "papel recuperado recogido" de procedencia doméstica y comercial, así como cartón ondulado.	
PARÁMETRO	Porcentaje de las fracciones simples [%] ⁽¹⁾
Contenido en agua	45 %
Plásticos	25,9 %
Fibra	27 %
Vidrio y piedras	0,11 %
Metales	0,88 %
Sustancias orgánicas	1,05 %
Cl - contenido de los plásticos ⁽²⁾	5,45 %
Cl - contenido relativo al combustible	1,43 %
Poder Calorífico Inferior (100% materia seca)	23.800 kJ/kg
Poder Calorífico Inferior (55% materia seca)	11.991 kJ/kg

⁽¹⁾ Nota: Media de 18 muestreos simples en fábricas a partir de papel recuperado en Alemania.

⁽²⁾ El contenido de cloro asociado a los plásticos que acompañan al papel recuperado ha decrecido muy significativamente en los últimos años debido al progresivo abandono del uso de plásticos clorados (PVC, etc.) en sus diferentes aplicaciones domésticas e industriales.

Figura 22: Caracterización desecho de una hidropulper (ASPAPPEL, 2008)

Para fines metódicos y de acotar este trabajo se realizarán pruebas y análisis para evaluar una muestra, pero es importante mencionar que si bien, el material tiende a una proporción de materiales, no se puede disponer de una cantidad exacta, lo único que no varía es el 20% de pulpa de papel y cartón que se espera, en el futuro disminuya gracias a tecnología de tratamiento de los cartones.

Selección del proceso productivo

De los 3 procesos estudiados previamente, sólo los procesos de moldeo por inyección y compresión califican debido a la posible complejidad en la forma del producto final, la extrusión podría limitar el desarrollo del producto.

Rueda de LIDS etapa 3

Los puntos a considerar en esta etapa son los siguientes:

1. Estudiar opciones para configurar procesos productivos responsables con el medio ambiente.
2. Evitar los CFC o procesos de fabricación que utilicen sustancias peligrosas y/o tóxicas.
3. Seleccionar alternativas de fabricación con bajas emisiones.
4. Optimizar el uso de materiales.
5. Simplificar al máximo los procesos de fabricación siempre que no se comprometa la estructura y función del producto.
6. Optimizar el consumo energético y, en la medida de lo posible, utilizar fuentes renovables.

Análisis del proceso de inyección: para el proceso mismo no es necesario ninguna sustancia extra, por ende, cumple el punto 1. En cuanto a gasto energético depende de varios factores que por el momento no se pueden evaluar con precisión. En cuanto a optimización de material la inyección destaca en este punto. Relacionado al punto

5 se requeriría de mayor información sobre los materiales utilizados y técnicas complejas de inyección para la obtención de una pieza resistente y homogénea. Actualmente Sistemold no cuenta con acceso a energías de fuentes renovables pero se proyecta utilizar energía solar en el futuro.

Análisis del proceso de compresión: para el proceso mismo no es necesario ninguna sustancia extra, por ende, cumple el punto 1. En cuanto a gasto energético depende de varios factores que por el momento no se pueden evaluar con precisión. En cuanto a optimización de material no se puede especificar si en el mismo proceso se puede aprovechar un porcentaje mayor al de inyección, por lo que no cumpliría. Si cumple el punto 5 ya que sin importar el material que esté dentro de la matriz se puede fabricar una pieza con buenas características mecánicas sin necesidad de otros procesos ni conocimientos técnicos elevados. Actualmente Sistemold no cuenta con acceso a energías de fuentes renovables, pero se proyecta utilizar energía solar en el futuro.

Ambos procesos cumplen 3 de 6 puntos, específicamente el moldeo por inyección aprovecha mejor el material, pero se requiere de procesos más complejos para producir una pieza (en las condiciones de materialidad en las cuales se trabaja en esta tesis) mientras que, por otro lado, el proceso de compresión puede no aprovechar tanto material como la inyección pero su proceso es simple en comparación a la inyección.

Se decide entonces trabajar con el proceso de compresión señalando que se espera en el futuro, habiendo estudiado a profundidad el material y los procesos se trabaje con moldeo por inyección.

Capítulo 3: Desarrollar

Análisis de diseño pallets existentes

Los pallets pueden estar fabricados de madera, papel, cartón, plástico, metal, resinas vegetales, entre otros. Sus principales funciones son facilitar el transporte de carga y ser soporte de mercadería almacenada. Entre sus características destacan su capacidad de ser apilables, reparables, económicos y livianos, pese a que no todos los pallets cumplen con estas características.

En el Anexo 3 se presenta un análisis de diversos pallets, se buscó los más representativos debido a la infinidad de aplicaciones y modelos según el tipo de carga que transportan. Los puntos a comparar son: cantidad y tipos de apoyo, entradas para la transpaleta o máquina encargada de la manipulación del pallet, superficie sostenedora de la carga a transportar, método de refuerzo (si es que existe), cantidad de piezas, características, rubro de uso (si es diseñado con un fin específico), dimensiones, normas que cumple, capacidad de transporte, peso, material y link de búsqueda.

Del análisis se rescata que, en proporción el modelo más liviano es el de tradepallet, ver figura 23, este es un medio pallet el cual, originalmente mide 144 x 790 x 595 mm³, pese a esto, sabiendo que el peso es directamente proporcional al volumen, si midiera 144 x 790 x 1.200 mm³, lo que aproximadamente miden el resto de los pallets analizados en esta sección, pesaría alrededor de 6 kg.



Figura 23: Pallet liviano (tradepallet)

La mayoría cuenta con sólo una pieza, a la excepción de los pallets que usan refuerzos como traversas, refuerzos metálicos o aplicaciones extras antideslizantes. Tienen 9 puntos de apoyo y algunos tienen una unión

entre algunos de sus apoyos, el diseño más resistente es el correspondiente a la figura 24, aguanta 89.000 N y pesa 13 kg, posee 9 puntos de apoyo y no cuenta con refuerzos extra al diseño, está fabricado con sólo una pieza.



Figura 24: Pallet resistente a la compresión

En cuanto al aspecto sostenible, varios dicen estar compuestos de material reciclable, uno dice estar compuesto de material reciclado,

pero ninguno de los pallets plásticos especifica el aporte a la sostenibilidad.

Para comparar con pallets de otras materialidades se analizó el pallet de madera (figura 25) y el “CocoPallet” (figura 26), ambos ejemplos certificados internacionalmente. En cuanto a propiedades mecánicas, el de madera en promedio puede llegar a resistir 44.484 N (más de 4,5 TON) de carga estática (Chep, s. f.), estructuralmente se compone de 11 tablas, 9 tacos y, en el ejemplo analizado, 78 clavos, los pallets que no poseen certificación no aseguran la cantidad y/o existencia de clavos, por lo que posee, a diferencia de los pallets plásticos, más de un material en su composición.



Figura 25: Pallet de madera certificado

El pallet de coco sólo posee un material, su estructura es parecida a los pallets plásticos y su resistencia mecánica es de 19.000 N.



Figura 26: CocoPallet

Partes de un pallet

Por lo general, un pallet se divide en 2 partes, el deck que es la superficie que está en contacto con la carga y los tacos que son generalmente cubos que le dan la altura necesaria para ser transportados por distintas herramientas, en algunos casos los pallets poseen también lo que se denomina patín o runner, que es la unión inferior (en contacto con el suelo) de 2 o más tacos, en la figura 27 se puede apreciar cada parte de un pallet. Cabe mencionar que existe una gran variedad de diseños de pallets relacionados a las distintas aplicaciones.



Figura 27: Partes generales de un pallet. Elaboración propia

Creación de conceptos

Disrupt Design: Hoja de trabajo 4

Se seleccionaron los 6 conceptos más relevantes y compatibles con el desarrollo del proyecto los cuales son: diseño para el desmontaje, diseño para la remanufactura, diseño para la modularidad, diseño para la reciclabilidad, diseño para la durabilidad y pensamiento del ciclo de vida completo seleccionados en la hoja de trabajo como se ve en la figura 28.

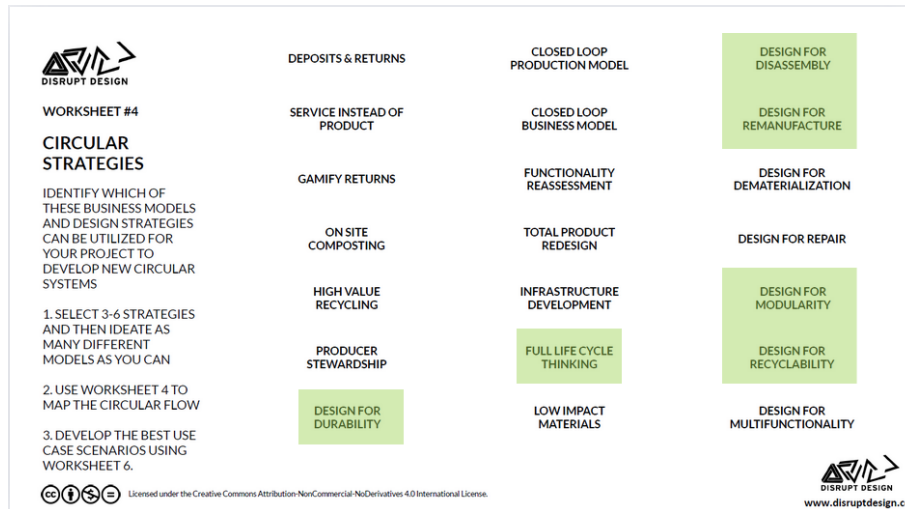


Figura 28: Aplicación de la hoja de trabajo 4 de Disrupt Design

A raíz de los conceptos destacados surgen 5 diseños iniciales.

Desarrollo de conceptos

Diseño para el desmontaje

El concepto “desmontaje” en el contexto del cual se seleccionó implica facilitar la separación de los materiales al ser reciclados (Acaroglu Leyla, 2020), se espera que el material fuese en un 100% de la misma composición, pero, se trabaja este concepto por la posibilidad de requerir un

material con mayor resistencia para alguna zona específica. En la figura 29 se ve el pallet desarrollado bajo este concepto, el cual consta de 2 partes, tacos en gris oscuro y deck en verde.

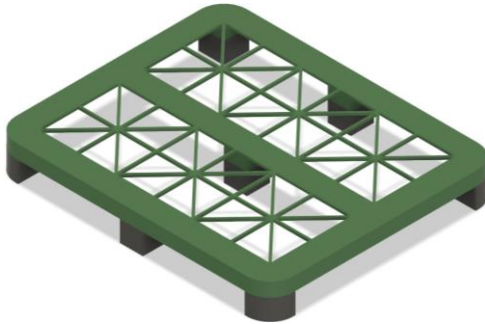


*Figura 29: Concepto diseño para el desmontaje.
Elaboración propia en Autodesk Fusion*

Diseño para la modularidad

El diseño para la modularidad se refiere a un producto con la capacidad de adaptarse a distintos usos y espacios funcionando bien en todos ellos (Acaroglu Leyla, 2020). En la figura 30 se muestra un esquema básico de este concepto donde un pallet normal se divide en 4 partes iguales, donde el módulo mínimo debe componerse de dos módulos para la manipulación de herramientas. Este diseño favorecer la fabricación ya que se requiere de menor cantidad de material y menor dimensiones, por lo que una inversión inicial en maquinaria sería más baja que con un pallet completo.

Para entender mejor este concepto se realizó un “Mapa del recorrido del cliente” modificado, donde el cliente es el pallet, ver anexo 5. De este análisis se rescata la versatilidad en cuanto a forma y propiedades mecánicas, también que el almacenaje es una de las tareas más importantes, ya que se repite en todas las etapas. La manipulación de armado y desarmado debe ser eficiente y fácil, ya que no hay control de quién hará esta tarea y, por otro lado, las HH (horas hombre) tienden a elevar el valor de los productos y servicios y el costo económico es un requerimiento importante. Por otro lado, los módulos deben ser diseñados bajo el estudio de las diversas formas de transporte que los pallets en vacío tengan para así efectivamente ahorrar espacio y favorecer el transporte en vacío.

Entendiendo lo anterior, este diseño puede favorecer el uso en diversas aplicaciones, aunque el transporte es algo que se debe estudiar.

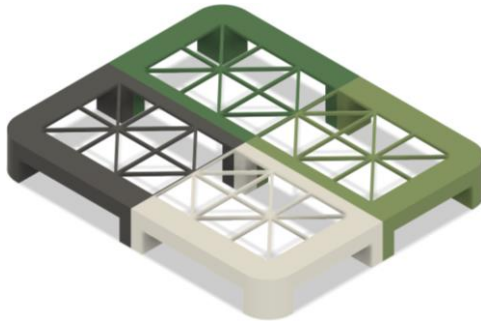


*Figura 30: Concepto diseño para la modularidad.
Elaboración propia en Autodesk Fusion*

Diseño para la remanufactura

Este concepto está referido a la posibilidad de, manteniendo algún porcentaje de un producto antiguo, la otra parte pueda ser fabricada nuevamente, esperando reciclar las partes dañadas, para alargar la vida útil del producto (Acaroglu Leyla, 2020), en conclusión, que cada parte se pueda reponer independiente de si “el modelo cambia” o el material, se espera que las partes sean compatibles a lo largo de la vida útil estipulada para el producto y quizás poder extenderla. En la figura 31 se ve la representación visual de este concepto el cuál se compone de 4 tipos de pieza diferenciadas por color, las cuales se repiten según sea necesario según la aplicación.

Este concepto suma los dos vistos con anterioridad, si bien no a un 100% pero son elementos que se contemplan, por ejemplo, las piezas son modulares, pero sólo las piezas gris claro funcionan realmente como un módulo, o sea, que se adaptan según las necesidades y si existen 2 o más siguen cumpliendo su función. El pallet puede ser desarmado completamente favoreciendo el transporte y, si alguna pieza requiere ser de un material distinto es de fácil separación, cumpliendo con el concepto desmontaje.



*Figura 31: Concepto diseño para la remanufactura.
Elaboración propia en Autodesk Fusion*

Diseño para la reciclabilidad

Se define como reciclable la capacidad de recuperar el material de forma fácil y

rentable al final de su vida útil (Acaroglu Leyla, 2020), teniendo en consideración que el proceso de fabricación ya contempla el reciclado de un material previamente desechado, el material que provenga de los residuos del pallet puede entrar en la misma cadena, ahora, la logística inversa es un punto relevante a considerar para que este punto conserve su bajo costo. Para esto existen distintos modelos de servicio, si es para un mercado nacional es factible el reciclaje en el lugar de fabricación, pero, a nivel internacional no es factible debido al valor económico y a la huella de carbono que esto generaría. Lo siguiente sería exportar sólo a países donde existan empresas que reciclen este material (debido a la diversidad en su composición) o que puedan enviar de vuelta el pallet ya que lo usarán para enviar materia prima o productos. Siguiendo con esa idea, en un entorno local, lo ideal sería que el pallet viaje la menor distancia posible también dentro del mismo país, por eso lo ideal sería gestionar puntos de almacenaje de pallets donde, al ser desocupados sepan donde dejarlos, si necesitan reparación la puedan hacer ahí y si necesitan pallets se gestione desde ese punto los envíos, al estilo de las empresas de reparto, que agrupan los pedidos en una zona específica

para luego, en vehículos más pequeños o menos contaminantes realizar envíos particulares. Esto no garantiza el apoyo de los usuarios, crucial para conocer el estado de los pallets, por ende, se extrapola otra opción complementaria que consta en agregar un cargo extra al producto, como se hace con las botellas plásticas (Pereira et al., 2023), ej. Subir en un 25% el valor del producto, y con eso fomentar en las empresas el reciclaje y la disposición adecuada de productos en mal o buen estado devolviendo ese 25% extra que se gastó al comprar el producto.

El arriendo de pallets es una práctica que se realiza actualmente en Chile, empresas como CHEP, disponen de puntos a lo largo del país donde limpian, revisan y reparan los pallets y los distribuyen a nuevos clientes (CHEP Chile, s. f.). Este tipo de esquema permite un ciclo tecnológico cerrado (Ellen MacArthur Foundation, 2013) de forma más segura, ya que se está constantemente en conocimiento y control de los pallets en existencia y de los pallets en mal estado que requieran de dar fin a su vida útil. Una alianza con estas empresas sería de gran utilidad ya que las empresas fabricantes no tienen gran experiencia en logística y,

menos aún si son Pequeñas o Medianas empresas, cuyos recursos son limitados. En la figura 32 se puede ver una representación gráfica de este concepto.

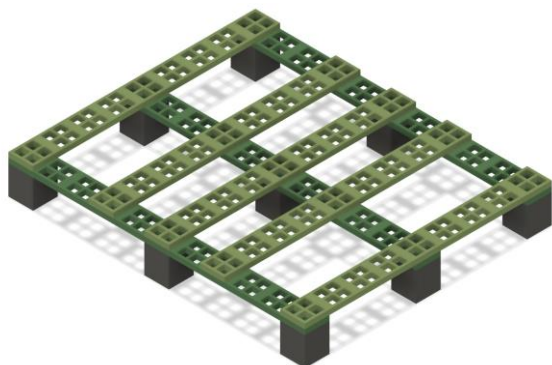


*Figura 32: Concepto diseño para la reciclabilidad.
Elaboración propia en Autodesk Fusion*

Diseño para la durabilidad

Este concepto hace referencia a productos estéticamente atemporales, muy duraderos y que conserven su valor en el tiempo (Acaroglu Leyla, 2020). En productos físicos, este concepto también se refiere a prever las fallas y reforzar las zonas más sensibles a la rotura y/o desgaste, para esto es importante tener en consideración el uso real del producto, esto se puede potenciar con el concepto de ciclo técnico cerrado (Ellen

MacArthur Foundation, 2013) ya que, recuperando los pallets o partes dañadas se le puede hacer seguimiento al uso real y a las necesidades del usuario en cada momento, qué usuario tiene tendencia a romper los pallets y debido a qué. En la figura 33 se evidencia un pallet con estas características.

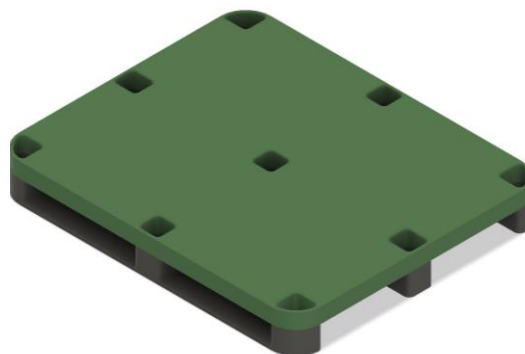


*Figura 33: Concepto diseño para la durabilidad.
Elaboración propia en Autodesk Fusion*

Diseño para el pensamiento completo del ciclo de vida del producto

Este concepto se refiere a diseñar teniendo en cuenta todas las etapas del producto y cómo hacer que el fin de su vida útil genere la menor contaminación posible. No se desarrolla como una idea puntual porque se

considera en todas las iteraciones antes vistas, es un concepto trascendental.

Ya teniendo conceptos y diseños a grandes rasgos se selecciona el más adecuado con las herramientas Rueda de LIDS y ponderando cómo cumple cada requerimiento de los requerimientos establecido en el capítulo 2.

Selección del concepto

Rueda LIDS

Para ponderar el aporte y relevancia de cada concepto se evaluó de forma cualitativa con la rueda de LIDS, puntuando de 1 a 5 como se ve en la tabla 2, donde 1 hace referencia a un mal desempeño, 3 un desempeño neutro y 5 un buen desempeño, 2 y 4 son valores intermedios. Cada concepto y su ponderación está explicado en el anexo 5, en la figura 34 se representa de manera grafica el análisis del concepto ganador.

Tabla 2: Evaluación de conceptos con la rueda LIDS

Etapas / Concepto	E0	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	Total
Desmontaje	3	3	4	4	3	3	3	4	27
Modular	4	3	5	4	4	3	3	4	30
Remanufactura	4	3	5	4	4	4	5	5	34
Reciclabilidad	5	3	5	4	4	3	3	5	32
Durabilidad	3	3	4	4	3	4	5	5	31

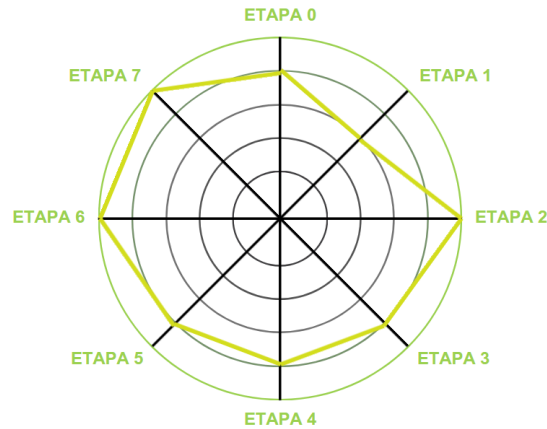


Figura 34: Concepto ganador de la rueda LIDS “Diseño para la remanufactura”. Elaboración propia

Requerimientos

En cuanto a los requerimientos, el análisis de la cantidad de material reciclado y el valor final no se consideraron ya que son elementos relacionados a la etapa final del diseño, sólo se estudió el peso para evaluar la alternativa con menos peso con los bosquejos en 3D, entendiendo que es sólo una guía y no la realidad final del producto, lo mismo con la resistencia, ya que aún no se conocen las propiedades mecánicas del

material. La mayoría de los conceptos cumple un gran porcentaje de los requisitos, y al igual que en la selección anterior, los conceptos remanufactura y reciclabilidad fueron los con mejores resultados, por lo mismo, sólo se analizó el peso y la resistencia mecánica de estos dos conceptos a modo de optimizar tiempo y recursos (este análisis se más adelante). En la tabla 3 se puede visualizar el resumen del análisis mediante requisitos.

Tabla 3: Evaluación de conceptos según requerimientos

Requisitos / Concepto	Desmontaje	Modular	Remanufactura	Reciclabilidad	Durabilidad
Cumple con normativa ISO 445	SI	SI	SI	SI	SI
Factor de seguridad con 1 TON (5mm de espesor y 9 tablas)	-	-	0,842	1,892 / 1,444	-
Peso kg (5mm de espesor y 9 tablas)	-	-	16,3	20,9 / 16,5	-
Tiene al menos un 50% de material reciclado	SI	SI	SI	SI	SI
Ahorra al menos un 50% de espacio en vacío	NO	SI	SI	SI	NO
Replicable	SI	SI	SI	SI	SI
Reparable/ Reacondicionable	Sólo tacos o deck	Sólo ¼	SI	SI	Sólo patines o deck
Personalizable	NO	SI	SI	SI	NO
Compatible con herramientas	Sólo algunas	Sólo algunas	Sólo algunas	Sólo algunas	Sólo algunas

Si bien, visualmente el concepto “remanufactura” tiene mejores características físicas, el concepto “reciclabilidad”, evaluado al mismo peso, cumple mejor las expectativas, en cuanto a requisitos y rueda de LIDS ambos diseños son los que mejor puntúan, debido a esto se utilizarán ambos diseños para continuar con el desarrollo.

Propuestas ganadoras

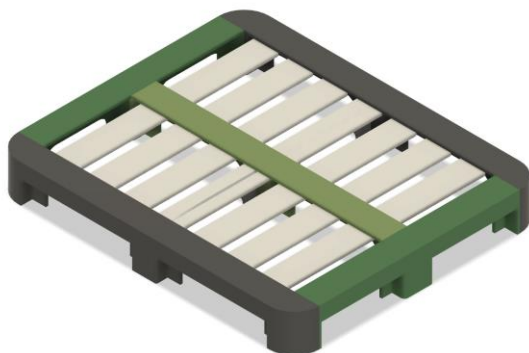


Figura 35: Propuesta ganadora 1 “Diseño para la remanufactura”. Elaboración propia

Elementos visuales que generan impresión de durabilidad y resistencia:

1. Esquinas curvas
2. Nervaduras estilo puente

3. Unión de tacos a una pieza mayor
4. Deck o tabla cerrada

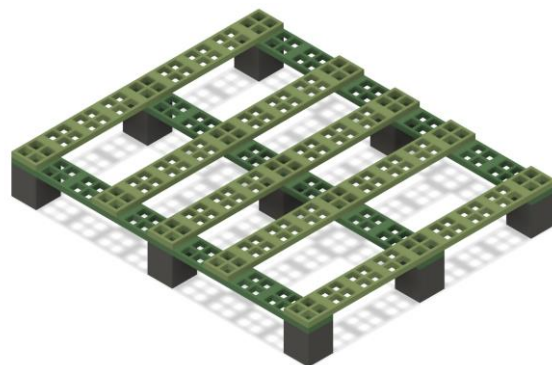


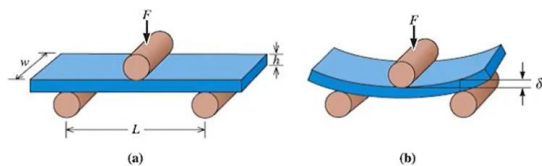
Figura 36: Propuesta ganadora 2 “Diseño para la reciclabilidad”. Elaboración propia

Elementos físicos que mejoran la resistencia mecánica

1. Altura de 20mm por tabla
2. Estructura con gran densidad de nervios pequeños que distribuyen la carga y cambian su dirección.

Analizando las ecuaciones relacionadas a la fuerza de flexión, figura 37, se desprende que las dimensiones más relevantes son la distancia entre los puntos de apoyo (L) y la altura del objeto (h), mientras menor sea L y mayor h el objeto tenderá a ser más

resistente a la flexión, el ancho del objeto impacta, pero en menor medida.



$$\sigma_{flexión} = \text{Resistencia a la flexión} = \frac{3FL}{2wh^2}$$

$$E_{flexión} = \text{Módulo en flexión} = \frac{L^3 F}{4wh^3 \delta}$$

Figura 37: Ecuación matemática del módulo de flexión y resistencia a la flexión

Desarrollo de propuesta final

Gracias a las acotaciones generadas a raíz de las propuestas ganadoras se llegó al diseño general que reúne lo más relevante de cada diseño, la percepción de solidez gracias a tablas cerradas en el deck y un pequeño soporte tipo escuadra en la intersección entre el deck y los tacos. En la sección “nervaduras y refuerzos” que sigue más adelante se desarrollarán estos puntos

destacados en la propuesta ganadora 2. También se agregó una tabla inferior a modo de patín para aumentar la compatibilidad del pallet con las diversas herramientas de manipulación como se puede identificar en la figura 38.

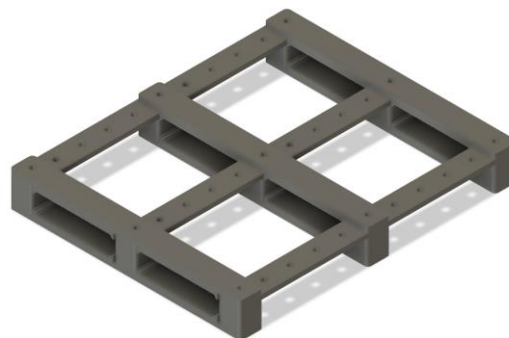


Figura 38: Diseño general. Elaboración propia

Diseño del detalle

Se desarrollan a continuación las uniones, nervaduras y optimización del transporte.

Uniones

En la herramienta “Rueda de LIDS”, en la sección relacionada al reciclaje y al material destaca la importancia de no mezclar

materiales diversos, si bien, el material a utilizar está compuesto de diversos materiales, se espera no requerir de otros materiales para la fabricación del pallet, esto tanto en la elaboración de cada pieza estructural, como en las piezas de ensamblaje. Existen diversos tipos de uniones sin tornillos que se explican a continuación:

Deslizantes: Las piezas se ensamblan deslizándolas una sobre otra hasta que encajan en su lugar.

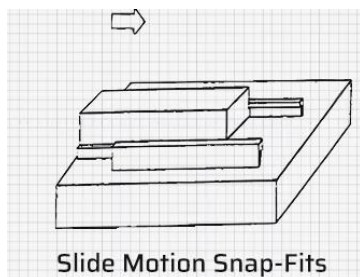


Figura 39: Representación gráfica de una unión deslizante. Rescatada de firstmold.com

Clip: Las piezas se ensamblan usando clips de plástico que se enganchan en ranuras o muescas.

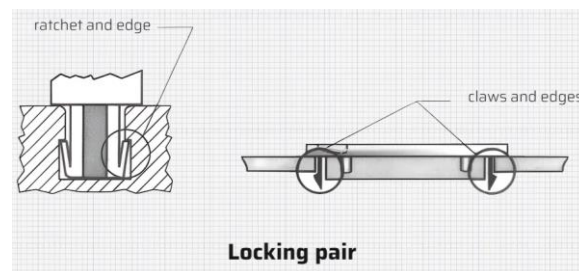


Figura 40: Representación gráfica de una unión de clip. Rescatada de firstmold.com

A presión: Las piezas se ensamblan presionándolas juntas hasta que las pestañas encajan en su lugar.

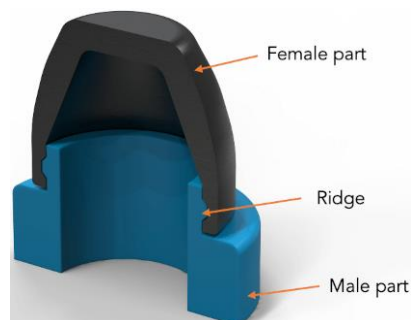


Figura 41: Representación gráfica de una unión a presión, vista de corte. Rescatada de www.china-machining.com

En cuanto a la factibilidad de fabricación, este tipo de uniones dificulta el moldeo por

compresión, es por esto que se decidió que se fabricará una pieza de unión inyectada intentando utilizar el mismo material con el cual se fabricará la estructura del pallet, de no ser factible, se fabricará con otro material reciclado hasta que el proceso sea tanto económico como viable.

Se decidió usar una unión tipo clip debido a la simplicidad de la pieza contraria para generar el sistema de unión.

Todas las piezas estructurales cuentan con un agujero circular de 20 mm de diámetro como se ve en la figura 42.

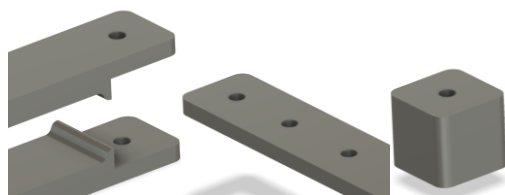


Figura 42: Diseño de la unión entre partes, de derecha a izquierda: taco, tabla travesaño, tabla deck y patín. Elaboración propia

Todas las piezas son unidas por el clip que se muestra en la figura 43, este está compuesto por dos partes, el clip y el seguro, el clip es la pieza encargada de unir el

conjunto y el seguro impide que el clip ceda. Es importante que, para cuidar la vida útil del sistema este nunca esté expuesto al exterior como se ve en la segunda imagen en la figura 43, por ende las piezas “tabla deck” y “patín”, que en son la misma pieza y la tabla travesaño, se modifican como se ve en la figura 44, haciendo una cavidad asegurando que el clip esté por completo dentro de la estructura. Sólo se modificó la cara que se ve en la imagen, el resto de la pieza continúa igual.

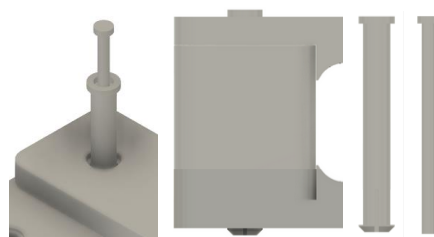


Figura 43: Sistema de unión, de izquierda a derecha vista en explosión, vista lateral, clip, seguro



Figura 44: A la izquierda tabla deck y patín vista superior, a la derecha travesaño vista inferior

Nervaduras y refuerzos

Al generar vaciado en las piezas para disminuir el peso, las propiedades mecánicas disminuyen en consecuencia, a partir del análisis de simulación de tensión estática en Autodesk Fusion se determina el uso y posición de las nervaduras.

El factor de seguridad fue calculado restringiendo el movimiento de los ejes “x, y, z” del patín central y sólo el eje “y” de los patines laterales, se aplicó una carga de 1 TON equivalente a 9.800 N sobre las tablas deck y travesaño. Por el momento se aplicaron las propiedades mecánicas y físicas del material “plástico” que ofrece el programa, cuyas propiedades son:

1. Módulo de Young: 0,709 GPa
2. Densidad: 1,290 g/cm³
3. Límite de elasticidad: 30,000 MPa
4. Resistencia máxima a la tracción: 40,000 MPa

Como se ve en la figura 45, la tabla “travesaño” es la que se ve más afectada por la deformación y le sigue la tabla deck, se agregarán nervios hasta conseguir que el

factor mínimo supere el valor 3, que es el mínimo valor seguro según el programa.

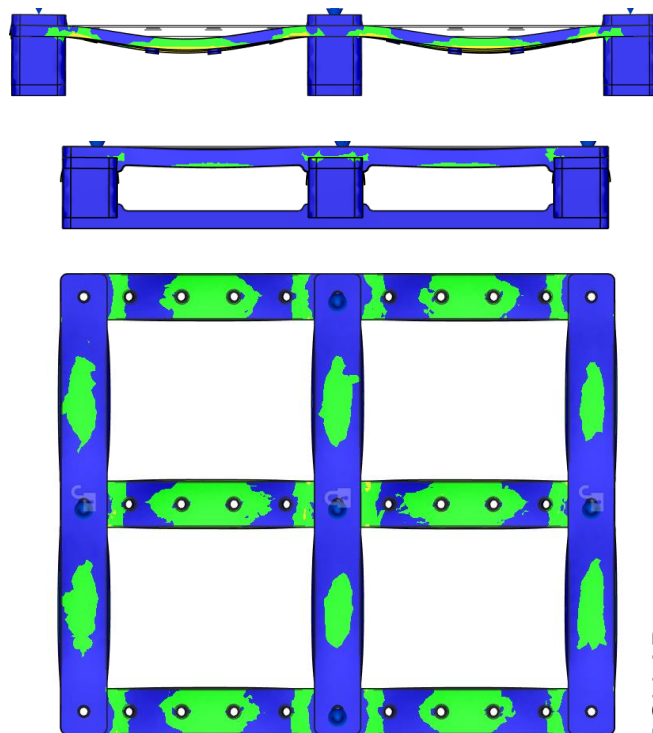


Figura 45: Resultado de simulación, factor de seguridad aplicando 1 TON de carga. Vista frontal, superior y lateral. Elaboración propia

La aplicación de nervaduras (ver anexo 6) aumentó considerablemente el factor de seguridad, como se puede ver en la figura 46

llegando al valor mínimo de 0,768 en las mismas condiciones iniciales pese a sólo tener 3 tablas conformando el deck y 9 tacos, para aplicaciones de cargas elevadas el número de tablas en el deck puede aumentar hasta 11. Este diseño está disponible en el siguiente link <https://a360.co/4ePGWPv>.

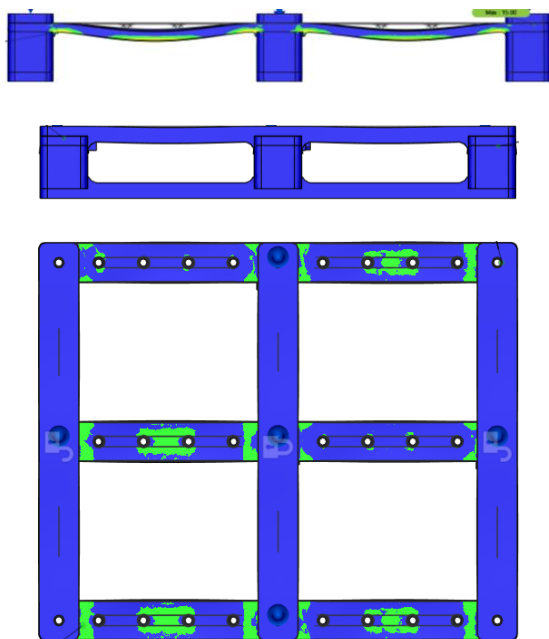


Figura 46: Resultado de simulación, factor de seguridad aplicando 1 TON de carga. Vista frontal, superior y lateral. Elaboración propia

Transporte en vacío

En la logística inversa, el espacio vacío entre las tablas de un pallet es un costo elevado, por esta razón un pallet modular que es fácil de armar ahorra espacio, disminuye viajes, con esto tiempo, dinero y contaminación. Si tomamos en cuenta las dimensiones totales de un pallet universal, 1200 x 1000 x 140 mm³ aproximadamente, 10 pallets apilados en 2 pilas de 5 pallets utilizan un espacio de 1200 x 2000 x 700 mm³, mientras que este pallet, al ser desarmado, los mismos 10 pallets ocuparían un espacio de 1500 x 600 x 600 mm³, ahorrando alrededor de un 70% de espacio al transportar en vacío. La limitante en este caso es que quién transporta debe ser una persona capacitada en el armado del pallet.

Pruebas mecánicas

Los Laboratorios de Mecánica UTFSM cuentan con una gran cantidad de máquinas y herramientas para realizar pruebas y ensayos a materiales y productos.

Para corroborar la resistencia del diseño generado con el material seleccionado se realizarán en el laboratorio del departamento

de Mecánica las pruebas de tracción y flexión, en Sistemold la prueba de fluidez y de forma casera la prueba de densidad. Se realizaron pruebas para el espesor de 3 mm.

En la tabla 4 se resumen los ensayos a practicar, sus respectivas normas y las probetas que se necesita fabricar para cada uno.

Tabla 4: Ensayos mecánicos y pruebas del material

Ensayo	Norma	Dimensión de cupón	Nº de muestras
Tracción	D638-10	Espesor < 3,2 mm: ver figura 47	5
Flexión	D790-17	Espesor < 3,2 mm: ancho 12,7 mm. Alto > (tramo del soporte * 1,2), alto mínimo > (tramo del soporte + 6,4 mm).	5
Densidad	D792-20	Volumen > 1 cm3. Espesor = 1cm por cada gramo. Peso ideal, entre 1 y 7 gramos. (no especifica forma.	>2
Fluidez	D1238-20	Cualquier forma que permita su introducción en el orificio del cilindro, por ejemplo, polvo, gránulos.	-

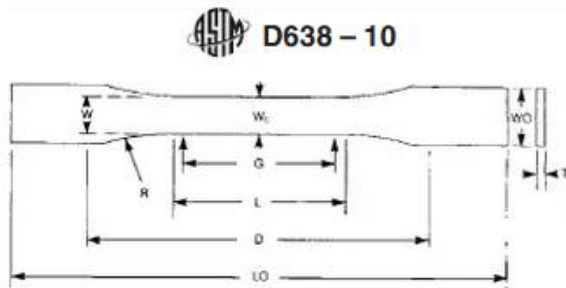


Figura 47: Muestra para testeo con espesor menor a 3,2 mm

La fabricación de las probetas se realizó con ayuda de Sistemold donde se encargaron de la fabricación de un molde de inyección (ver figura 48) con los 2 modelos de probetas,

para tracción y flexión cuyas medidas fueron calculadas a partir de las normas estudiadas y las características de la maquinaria de medición, se pueden ver las dimensiones específicas en los anexos.

Se inyectaron SCRAP del reciclaje del cartón al 100% para 5 muestras por ensayo, 70% del mismo SCRAP mezclado con 30% de pellet de bolsa reciclada para 5 muestras por ambos ensayos y, finalmente una mezcla de 50% de ambos materiales mencionados, también 5 muestras por ensayo mecánico.



Figura 48: Molde de inyección para los ensayos mecánicos de tracción y flexión fabricado por Sistemold.

Todo lo relacionado a la fabricación del molde y la inyección de los materiales fue realizada por el personal de Sistemold. Se trabajó con el material de reciclaje de bolsa plástica y film debido a la gran cantidad de este material existente en el mercado y por la disponibilidad de materiales de Sistemold.

Tracción

Este ensayo se realiza bajo la norma ASTM D638-10 con cupones de 3mm de espesor cuyas dimensiones generales son 19mm de ancho máximo por 165 de largo. Este ensayo consta de posicionar el cupón el cual se definió en la tabla 4, en una máquina de tracción, esta, aplica fuerza al separar los extremos del cupón evaluando la capacidad del material para traccionarse hasta la ruptura, se recopilan los datos hasta antes de la falla.

Se utilizó la máquina INSTRON TTDM10 (ver figura 49), la cual está optimizada para ensayos de materiales metálicos, facilitada por el laboratorio de mecánica de la UTFSM CC, se llevó a cabo el ensayo de 15 probetas, 5 de 100% de SCRAP del reciclaje del cartón, 5 de 70% de SCRAP y 30% material reciclado de bolsa y, finalmente, 5

con 50% de SCRAP y 50% de reciclaje de bolsa, en la figura 50 se pueden observar las probetas.



Figura 49: Máquina INSTRON TTDM10 perteneciente al laboratorio de mecánica de la UTFSM CC.



Figura 50: Probetas para el ensayo de tracción, de izquierda a derecha grupo de probetas al 100% de SCRAP, 70% de SCRAP y 50% de SCRAP.

El ensayo consiste en, posicionar el cupón entre las mordazas de la máquina (ver figura 51) aprisionarla para que no resbale, se cargan las especificaciones de cada ensayo con cada probeta en el software de la máquina, que se ven en la figura 52 y se cargan los parámetros que se presentan en la figura 53 de 1000 Dpa de escala de medición, 50mm de recorrido máximo y 5mm/min de velocidad de avance, finalizado esto se comienza con el ensayo, las mordazas se van separando a una velocidad constante de 5mm/min y va midiendo a cada segundo la fuerza necesaria para hacer este recorrido.



Figura 51: Cupón cargado en la máquina de medición.

PARAMETROS	
ORDEN DE TRABAJO	PROBETA N°:
200824	012
FECHA	L0 (mm)
20-08-24	165
ANCHO (mm)	ESPESOR (mm)
19	3
DOCENTE	
Javiera Laurel	
MATERIAL	
70% SCRAP Y 30% RECICLADO DE BOLSA	
OBSERVACIONES	
TRACCIÓN N°1	

GRAFICO

CALIBRAR

SALIR

Figura 52: Especificaciones de la probeta.

PARAMETROS		
FUERZA daN	DESPLAZAMIENTO mm	VELOCIDAD mm/min
☐ 10000 daN ☐ 5000 daN ☐ 2000 daN ☒ 1000 daN	☐ 500 mm ☐ 250 mm ☐ 100 mm ☒ 50 mm ☐ 25 mm ☐ 10 mm	☐ 500 mm/min ☐ 200 mm/min ☐ 100 mm/min ☐ 50 mm/min ☐ 20 mm/min ☐ 10 mm/min ☒ 5 mm/min ☐ 2 mm/min ☐ 1 mm/min ☐ 0.5 mm/min

RETORNO RAPIDO

Figura 53: Configuraciones del ensayo, de izquierda a derecha, escala de fuerza aplicada, desplazamiento máximo y velocidad de avance.

Los resultados obtenidos son gráficos como el que se ve en la figura 54, debido a que la escala está optimizada para ensayos con una fuerza mayor, los datos fueron traspasados a Excel donde se pueden analizar de mejor forma los resultados obtenidos, como se ve en la figura 55, cada gráfico está disponible en el Anexo 6, los valores obtenidos se resumen en la tabla 5. Por un error de configuración del software los datos se sobrescribieron y sólo se rescataron los datos de la segunda, tercera

y cuarta probeta con 70% de SCRAP y 30% de reciclaje de bolsa y las probetas N°1 con 100%, 70% y 50% de SCRAP. Para efectos de esta memoria se trabajará con los datos del ensayo de tracción al 70% del material de SCRAP ya que se tienen los datos de las 5 probetas como la norma recomienda.

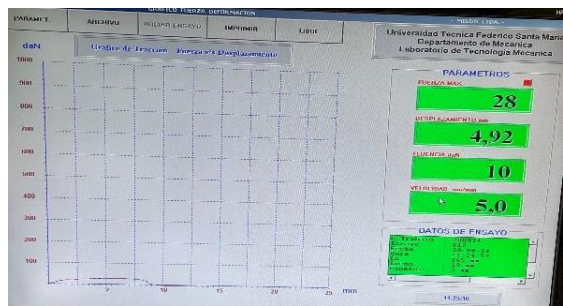


Figura 54: Resultado del ensayo en la pantalla del software.

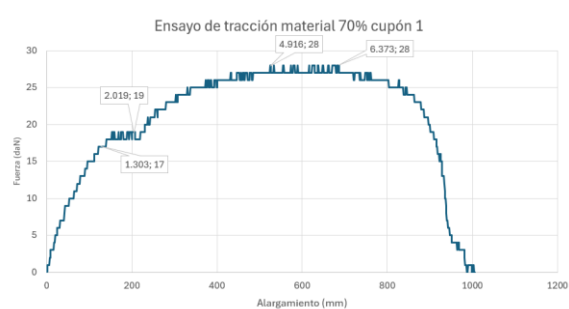


Figura 55: Ejemplo de gráfico, con escala ajustada, del comportamiento del ensayo de tracción.

Tabla 5: Resultados ensayos de tracción.

Nº Probeta	Módulo de Young
1	1,25
2	1,29
3	1,33
4	0,01
5	1,53

El valor de la probeta 4 no se toma en consideración ya que su valor difiere demasiado del resto de las probetas, por ende se considera como un error de medición.

El valor promedio es de 1,35 GPa.

Flexión

Este ensayo se realiza bajo la norma ASTM D790-17 con cupones de 3mm de espesor cuyas dimensiones generales son 12.7mm de ancho por 100mm de largo, caracterizadas en la tabla 4. Este ensayo consta en posicionar el cupón sobre 2 apoyos dejando un espacio vacío en el medio, se aplica fuerza en el centro de la muestra y se recopilan los datos hasta antes de la falla, ya sea rotura o deformación permanente.

Se utilizó la máquina INSTRON TTDM10, misma que el ensayo anterior, la cual está optimizada para ensayos de materiales metálicos, facilitada por el laboratorio de mecánica de la UTFSM CC, se llevó a cabo el ensayo de 15 probetas, 5 de 100% de SCRAP del reciclaje del cartón, 5 de 70% de SCRAP y 30% material reciclado de bolsa y, finalmente, 50% de SCRAP y 50% de reciclaje de bolsa, en la figura 56 se pueden observar las probetas utilizadas. Cada probeta se situó en los soportes de la máquina como se ve en la figura 57, luego, se cargan las especificaciones de los cupones y los parámetros del ensayo en el mismo software anterior, en este caso 1000 Dpa de escala de medición, 25mm de recorrido máximo y 5mm/min de velocidad de avance.



Figura 56: Probetas para el ensayo de flexión, de izquierda a derecha grupo de probetas al 100% de SCRAP, 70% de SCRAP y 50% de SCRAP.



Figura 57: Cupón cargado en la máquina de medición.

Finalizado el punto anterior se inicia el ensayo, los cilindros superiores bajan

generando flexión en la probeta, por sugerencia de los profesores del laboratorio se finalizó cada prueba a los 20mm de avance ver figura 58, por ende, 4 minutos después de dar inicio. Por un error de configuración del software los datos se sobrescribieron y sólo se rescataron los datos de la primera probeta, con 50% de SCRAP y 50% de reciclaje de bolsa. El gráfico no es del todo concluyente, ver figura 59, debido a esto no se consideró este dato en esta memoria.



Figura 58: Final del recorrido de la máquina.

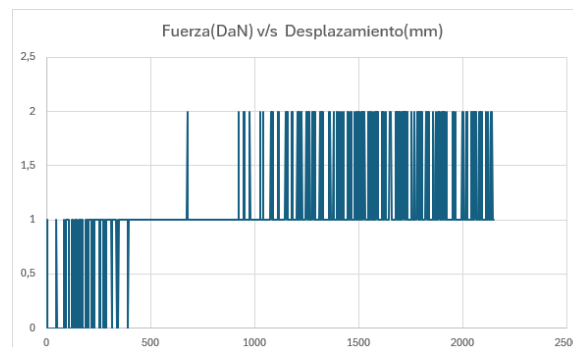


Figura 59: Gráfico resultante del ensayo de flexión en la probeta N°1 del material 50% SCRAP 50% Reciclado de bolsa.

Densidad

Este ensayo se realiza normalmente bajo la norma ASTM D792-20 pero se calculó de forma manual con las probetas sobrantes del experimento de flexión. Se calculó manualmente las dimensiones del volumen y se pesaron las muestras en la pesa que se ve en la figura 60, calibrando entre cada pesaje como se ve en la figura 60 con un peso de 200g obteniendo los resultados visibles en la tabla 6 donde mm³ es el volumen, g el peso de cada probeta y ρ la densidad calculada como volumen/gramos.



Figura 60: Pesa, probetas y peso de calibración.

Tabla 6: Estudio de densidad para los 3 grupos de muestras.

Probeta	Material	mm3	g	ρ
1	100%	3810	4.052	0,0011
2			3.658	0,0010
3			3.836	0,0010
1	70%		3.658	0,0010
2			3.803	0,0010
3			3.579	0,0009
1	50%		3.773	0,0010

2			3.822	0,0010
3			3.772	0,0010

El valor promedio de densidad del material en todas sus configuraciones es de 0,0010 g/mm3.

Fluidez

Este ensayo se realiza bajo la norma ASTM D1238-20, este experimento tiene 4 procedimientos u opciones, A: operación manual, B: medición del caudal temporizada automáticamente, C: medición de caudal temporizada automáticamente para poliolefinas de alto caudal utilizando una matriz de "media" o "troquel medio" (half die) finalmente, D: Multipeso con medición de caudal temporizada automática (ASTM International, 2020).

Esta prueba se realizó con un equipo facilitado por Sistemold, y por sus especificaciones se hizo el procedimiento A, en el cual se toma una cantidad específica de material, en este caso 200ml, en trozos molidos de 1,5mm de radio máximo, el cual se posiciona en la máquina de procedencia China para medir el índice MFR (melt Flow rate o en español, ratio de fluidez), no es

visible un modelo específico de la máquina y en el manual tampoco aparece el modelo específico pero es una máquina genérica que se encuentra fácilmente en el mercado, ver figura 61, la prueba se llevó a cabo con asesoría de sus trabajadores, el ensayo se realiza a 190°C de temperatura constante, no se puede utilizar una temperatura más elevada debido a la existencia de cartón el cual se puede incendiar, se espera a que el pistón se caliente por 10 minutos, luego se introduce el material y se esperan 7 minutos para que este se derrita, pasados los 7 minutos se aplica un peso de 1.2kg en la zona superior como se ve en la figura 61 el cual, por fuerza de gravedad empuja el material por la boquilla de 2mm y se cronometran 10 minutos, terminado este tiempo se pesa el material que ha caído por la boquilla, se carga este dato en la máquina e imprime el MFR.



Figura 61: De izquierda a derecha: máquina de medición de fluidez, máquina de medición cargada con el peso mínimo.

Se realizó el ensayo con pesos desde 1.2kg hasta 21.6kg y en ningún peso bajó el material, este se quedó estancado como se ve en la figura 62. Se hizo el mismo procedimiento para el material de bolsa reciclada y su MFR fue de 5,6g/10min, valor inferior para procesos como la inyección.



Figura 62: Material de SCRAP atascado en la boquilla de la máquina de medición.

Con este ensayo se puede concluir que el proceso de compresión es el más adecuado para fabricar productos con el material de SCRAP del reciclaje del cartón, ya que para la inyección se requeriría de temperaturas muy bajas y valores de presión muy altos, lo que rápidamente dañaría la maquinaria y los moldes.

Prototipos

Prueba de dimensiones generales

Se realizó una maqueta física a escala real de material ligero para probar la usabilidad.

La maqueta se realizó con las dimensiones del diseño genérico como se ve en la figura 63.

Se documentó el testeo en 3 videos disponibles en los siguientes links:

[Testeo 1.mp4](#)

[Testeo 2.mp4](#)

[Testeo 3.mp4](#)



Figura 63: Pallet de prueba, usabilidad con montacarga

La entrevista se refleja en la siguiente tabla

(tabla 7). Se obtuvo un total de 29 puntos de 35, esto debido a que el entrevistado si bien, afirma que las dimensiones son las apropiadas, hay otros elementos como la estabilidad y la disminución del riesgo de

accidentes que con una maqueta de este estilo no se puede testear, se espera entonces poder testear estas y más características con el prototipo de fabricación industrial a baja escala.

Tabla 7: Cuestionario tipo escala Likert. Elaboración propia

Entrevistado	Nombre Oscar Retamal	Puesto Operario Supervisor			
Afirmación	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Neutral	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
El pallet es fácil de manipular con la montacarga.				X	
La entrada de las horquillas en el pallet es suave y sin obstáculos.					X
El pallet mantiene su estabilidad durante el levantamiento y el transporte.				X	
El pallet no se deforma ni se daña fácilmente cuando se utiliza con la montacarga.				X	
El diseño del pallet facilita su alineación correcta con la montacarga.				X	
El pallet es compatible con diferentes modelos de montacargas.					X
El diseño del pallet minimiza el riesgo de accidentes o daños durante su uso.			X		
Puntaje final					29/35
Comentarios Adicionales:			El material del pallet no permite saber como se va a comportar en la vida real pero en cuanto a dimensiones es parecido a lo que estamos acostumbrados a trabajar.		

Prueba de sistema de anclaje

Se imprimió en 3D un corte de una esquina del pallet, ver figura 64, con la finalidad de probar el sistema de anclaje diseñado en el capítulo 3, se imprimió sólo $\frac{1}{4}$ del taco para ahorrar tiempo y recursos, en total se imprimió 1 clip, 1 seguro, 2 tablas deck y patín, 1 tabla travesaño y 1 taco como se ve en la figura 65. Se realizó un instructivo (ver figura 66) para, desde ya, ir generando un instructivo final de armado del pallet.

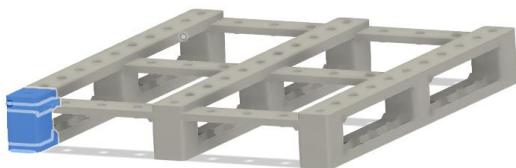


Figura 64: Corte representativo para validación de armado. Elaboración propia.



Figura 65: Validación del prototipo de armado. Elaboración propia

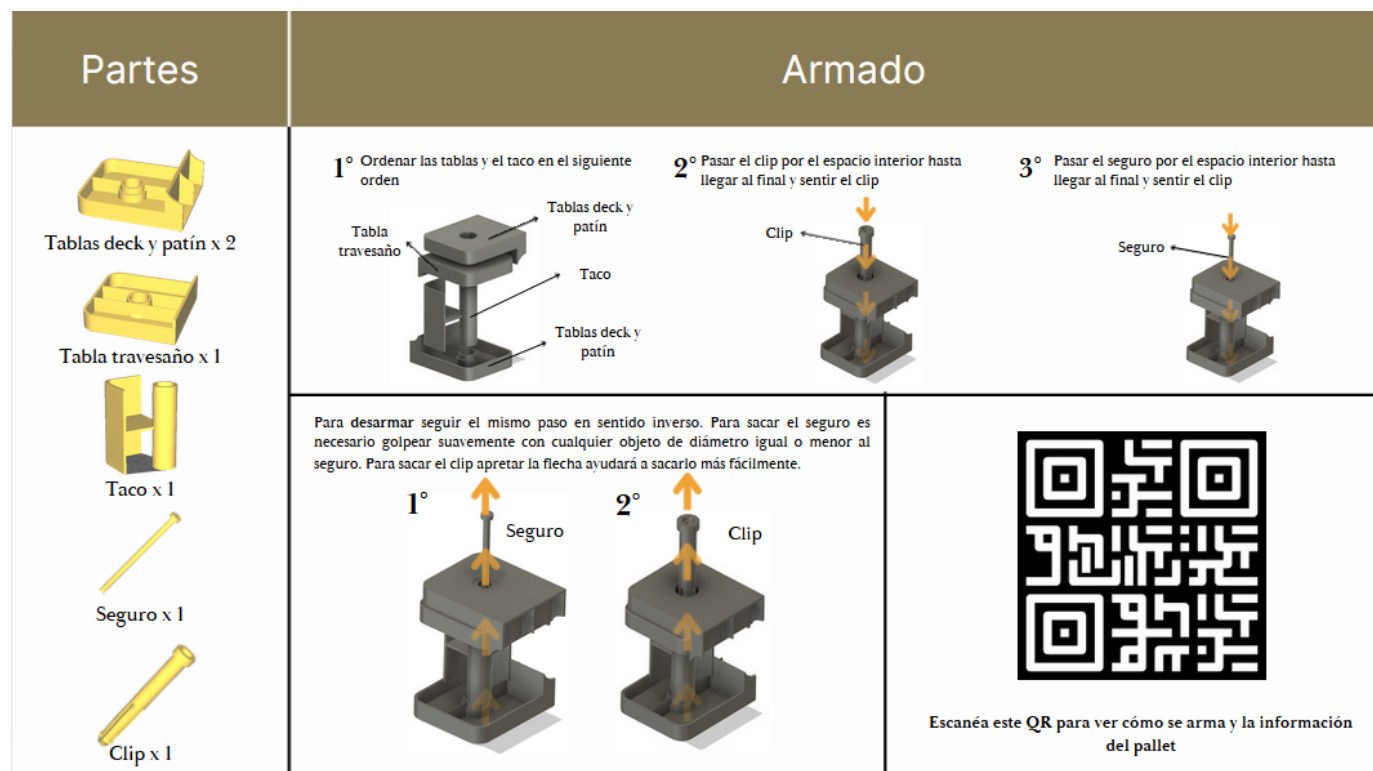


Figura 66: Instructivo de armado primer módulo. Elaboración propia.

Los resultados del primer testeo del armado del pallet se pueden ver en la figura 67, donde se indica el tiempo de armado de la primera vez, por ende, leyendo las instrucciones, el tiempo de desarmado y el tiempo de armado por segunda vez. Existe

una baja considerable de tiempo entre el armado por primera vez respecto al desarmado y el armado por segunda vez. Se concluye que las indicaciones no son del todo claras.

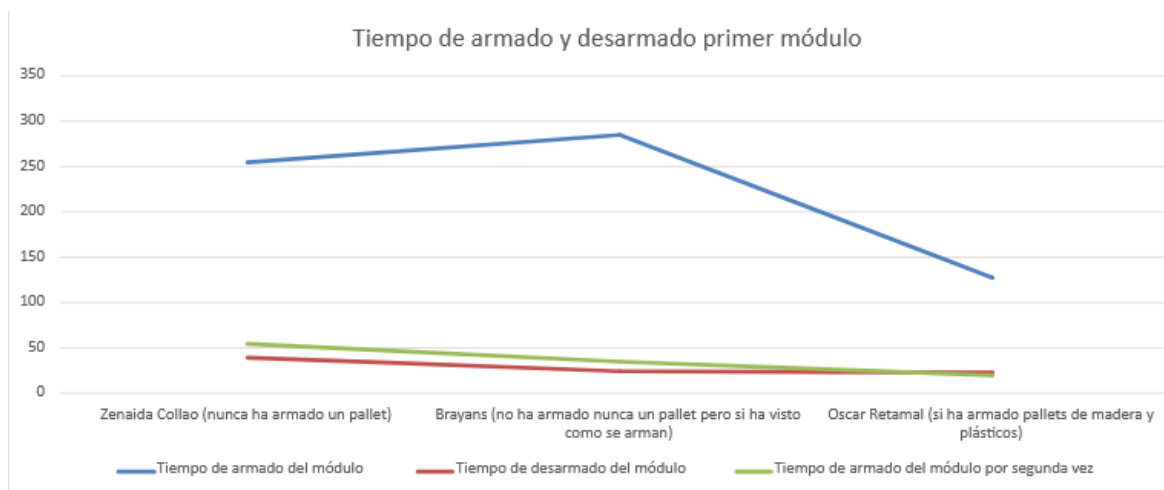


Figura 67: Tiempo de armado y desarmado del primer módulo. Elaboración propia.

Posterior a esta experiencia se le hizo preguntas a cada persona respecto a su experiencia con el clip específicamente de las cuales se deduce que el tiempo de armado parecería igual o levemente menor que un pallet de madera y el clip genera una sensación de que posiblemente no aguantará un uso continuo, el detalle de la encuesta está disponible en el Anexo 6.

Segunda versión del pallet

Luego de la entrega de la tesis se recomendó dar mayor seguridad en el

producto, por ende, se modificó la estructura del pallet, alargando las tablas deck y patín y acortando la tabla travesaño. También se agregó un encaje entre piezas para disminuir los esfuerzos laterales del clip como se ve en la figura 68 agilizando el armado e intentando generar más confianza en el sistema de anclaje.

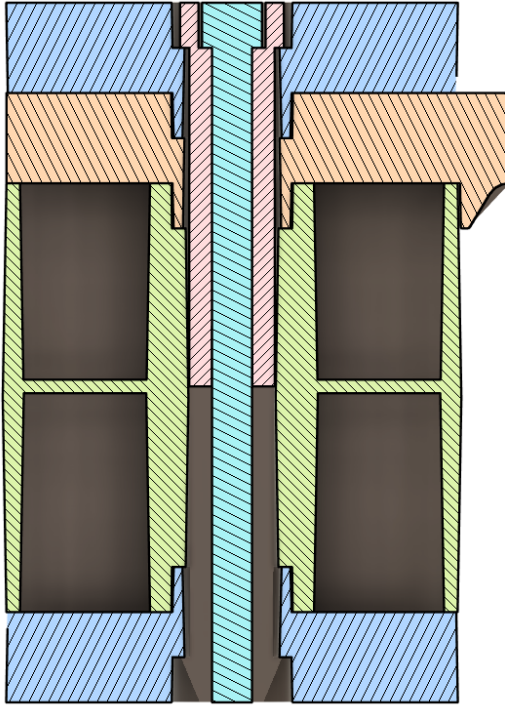


Figura 68: Corte transversal del pallet, donde se muestra los nuevos encajes entre piezas.:

Luego de los resultados de la primera prueba de anclaje y la retroalimentación

obtenida en la entrega de la tesis se modificó el anclaje agregando un ensamble entre piezas como se ve en la figura 69 para facilitar el encaje entre piezas y agilizar el armado. También se rediseñó el instructivo de armado (figura 70), la evaluación Likert se mantuvo igual.

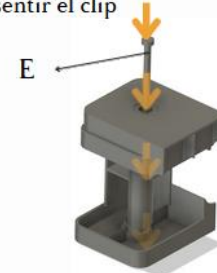
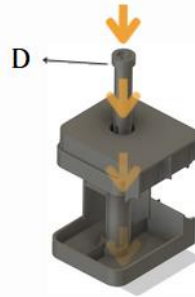
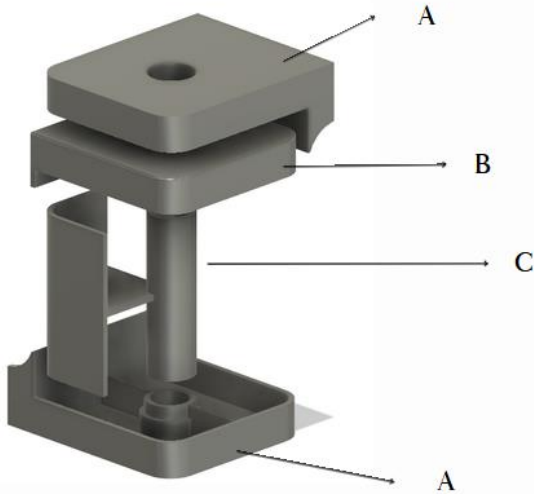


Figura 69: Segunda validación del sistema de anclaje.

Armado

1º Pasar el clip por el espacio interior hasta llegar al final y sentir el clip

2º Pasar el seguro por el espacio interior hasta llegar al final y sentir el clip



Escanéa este QR para ver cómo se arma y la información del pallet

Figura 70: Instructivo de armado segundo módulo. Elaboración propia.

Los resultados fueron los siguientes, el tiempo de armado la primera vez disminuyó en un 60%, el tiempo para desarmar el módulo disminuyó en un 38% y el tiempo de armar el módulo por segunda vez disminuyó

en un 28%, en la figura 71 se evidencia que la diferencia entre el armado por primera vez y el armado por segunda es menor que en la validación anterior.

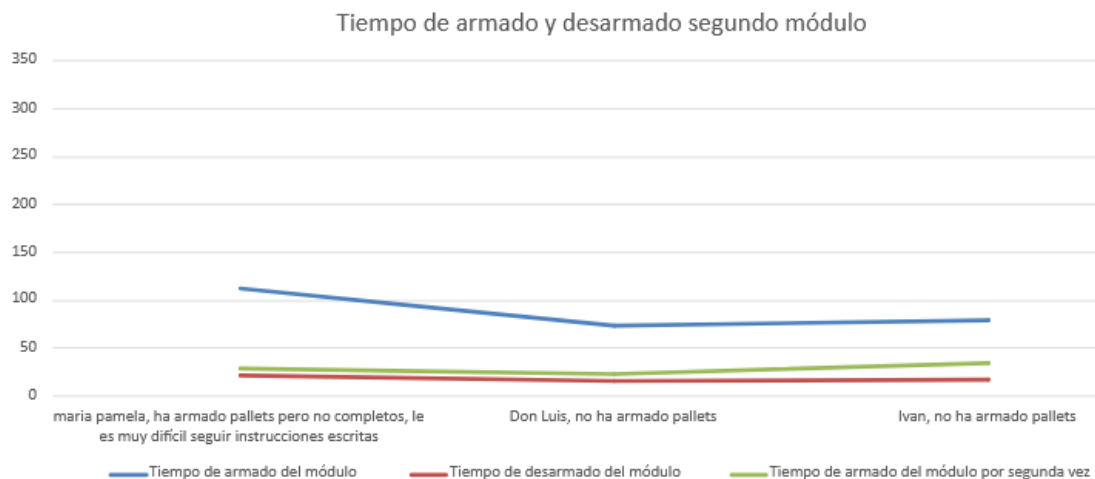


Figura 71: Tiempo de armado y desarmado del segundo módulo. Elaboración propia.

Pese a que el tiempo mejoró, las instrucciones siguen sin ser del todo precisas, María Pamela sugirió que se graficara la pieza real a armar además de diferenciar gráficamente el hecho de que hay 2 piezas iguales y una distinta en cuanto a las tablas ya que son piezas muy parecidas. Los puntos que estuvieron bajos en la validación anterior, para esta subieron, aunque aún la percepción de seguridad del clip es baja (puntuación de 4,3 de 5), el detalle de la encuesta está disponible en el Anexo 6.

Capítulo 4: Entregar

Circular Design Rules

Se realizó una evaluación del diseño resultante con la herramienta web “circular Design Rules” la cual está disponible en el siguiente link:

<https://cdr.tools/score?id=iPTOqYg7cZ>.

El punto más bajo fue “reducción” con un 0% debido a la diversidad de materiales y la complejidad de estos, seguido de la reciclabilidad, un 33% debido a la inexistencia de sistemas actuales que reciclen el material del que está compuesto el pallet y, también con un 33% la modularidad, ya que sólo se puede modificar para “actualizar” el sistema, que es un ítem aparte, pero, las partes por separado no cumplen ninguna función extra o distinta.

Esta evaluación da las rúbricas para una evolución y mejoramiento a futuro.

Lifecycle Exploration Sheet

El análisis realizado está en el anexo 7, en este punto es similar a los realizados antes con la excepción de la sección “Distribución y Servicio”, donde se menciona la importancia de que una persona calificada

sea quién distribuya para gestionar de forma óptima el ciclo de vida del producto, esta persona será la encargada de evaluar si un producto está en mal estado, si se puede reparar, reutilizar, reciclar o ya, en última instancia valorizar en forma de pirólisis.

Fabricación de un MPV

Producto final

El producto final está fabricado con el 70% del material analizado (SCRAP de hidropulper) mezclado con un 30% de material reciclado de bolsa, esto para mejorar sus propiedades mecánicas y de fabricación. La densidad de este material es de 0,001g/mm³ y su módulo de Young es 1,35 GPa.

En cuanto al diseño, está compuesto de 5 partes como se ve en las figuras 72, 73, 74, 75 y 76.

El taco (figura 72) cumple con la función de levantar las tablas para dar espacio entre el piso y la carga del pallet, es la pieza clave para facilitar el uso de herramientas de movilización como transpaletas y grúas horquilla. Sus dimensiones generales son

101,66mm x 101,66mm en su cara cuadrada por 95mm de alto, su espesor general es 3mm y tiene un ángulo de desmoldeo de 1°. Su peso es de 328,407g. En esta versión se consideró sólo un tamaño de taco pero en diseños futuros se podría considerar un taco 20mm más alto con la finalidad de eliminar la tabla patín cuando los usuarios no necesiten esa aplicación.

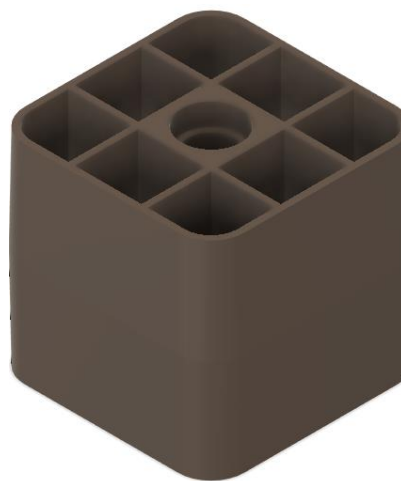


Figura 72: Vista isométrica del taco.

La tabla deck y patín, figura 73, como su nombre lo indica, tiene la función de formar el deck, o la superficie que está en contacto con el material a transportar y el patín que es

la pieza fundamental a la hora de automatizar la paletización, ya que es el anclaje para ese tipo de maquinaria, por otro lado, el patín también posee la cualidad de mejorar la resistencia del pallet. Sus dimensiones generales son 1200,1mm de largo por 100,1mm de ancho por 42,5mm de alto, tiene un espesor general de 3mm y un ángulo de desmoldeo de 1°. Su peso es 693,698g. De los 11 orificios que esta tabla posee sólo 3 se utilizan para ser unida al resto del pallet, los de los extremos y el central, el resto fue diseñado así para ahorrar en la elaboración de un molde y usar sólo uno en la fabricación de ambas tablas, travesaño y deck y patín.



Figura 73: Vista isométrica de la tabla deck y patín.

La tabla travesaño (figura 74) cumple la función de unir las tablas deck y patín entre sí por la parte superior, está entre el deck, tabla en contacto con la carga a transportar y el taco. Sus dimensiones generales son 1000mm de largo por 100mm de ancho por 30mm de alto, su espesor general es de 3mm y tiene un ángulo de desmoldeo de 1°. Su peso es 538g. Tiene 9 orificios como se ve en la figura 74 los cuales son la zona de unión con el resto del pallet, a diferencia de la tabla anterior, aquí si se pueden usar todos los orificios dando la posibilidad de generar un deck completamente cerrado, haciendo que el pallet posea una mayor capacidad de carga o, por el contrario, al usar la cantidad mínima de tablas se configuraría un pallet liviano con poca capacidad de carga.



Figura 74: Vista isométrica de la tabla travesaño.

El clip (figura 75) tiene la función de unir las piezas entre sí, atraviesa todas las piezas del pallet anclándose entre las piezas del deck y del patín. Sus dimensiones generales son 23mm de diámetro por 155mm de alto, su espesor general son 5mm y su peso es 28,95g. Este clip, en esta versión del pallet se hizo de un solo tamaño pero en diseños futuros podría variar para, por ejemplo, acortarlo para sostener sólo las tablas del deck a la tabla del travesaño sin considerar una tabla patín y/o un taco, o alargarlo para agregar un taco más largo o dos tacos en vez de uno.



Figura 75: Vista isométrica del clip.

El seguro (figura 76), como su nombre lo indica, tiene la función de asegurar el clip, le da soporte interior evitando que colapse hacia dentro desarmando su estructura. Sus dimensiones generales son 13,4mm de diámetro por 155mm de alto, su peso es de 10,64g. Este depende de la dimensión del clip, por ende, cualquier diseño que modifique la dimensión del clip también debe modificar la dimensión del seguro.



Figura 76: Vista isométrica de seguro.

Existen muchas configuraciones de armado para las piezas ya mencionadas, pero, en honor al tiempo explico aquí sólo 3 de ellas.

La primera opción, figura 77, es un pallet liviano, diseñado para transportar artículos de más de 500mm x 400mm de base. Se configura con 9 tacos, clips y seguros, 3 tablas travesaño y 6 tablas deck y patín. Su tiempo de armado promedio es de 8,8 minutos y su peso es de 9,1kg.

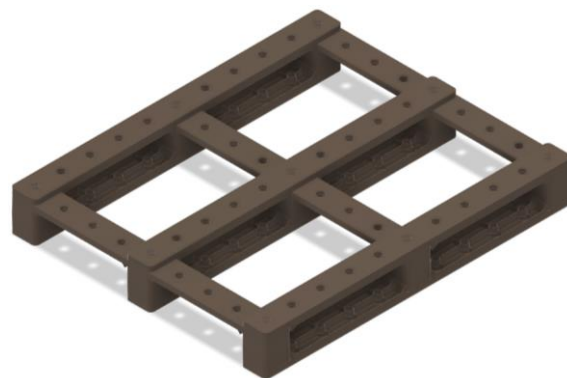


Figura 77: Pallet liviano.

La segunda opción, figura 78, es un pallet intermedio diseñado para transportar artículos con una base de más de 500mm x 300mm. Se configura con 12 tacos, clips y seguros, 8 tablas deck y patín y 3 tablas travesaño. Su tiempo de armado promedio es de 11,7 minutos y su peso es de 11,6kg.

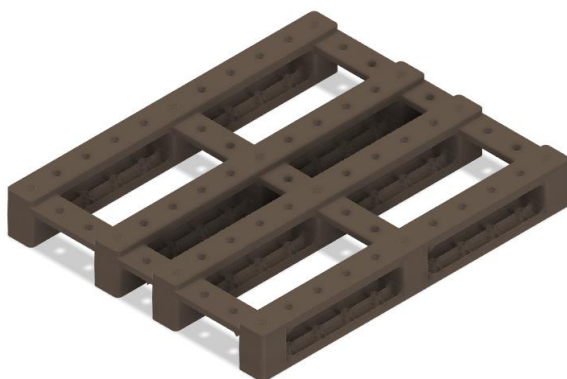


Figura 78: Pallet carga media.

La tercera opción, figura 79, es un pallet cerrado con sólo 2 entradas para el transporte, en él se pueden transportar artículos sin importar su base siempre y cuando se pueda sostener por si misma o con ayuda de film en la parte superior del pallet (deck), su tiempo de armado es de 26,4 minutos aproximadamente y su peso es de 24kg.



Figura 79: Pallet carga pesada.

MPV

Debido a que la fabricación de un pallet a baja escala por compresión demora a lo menos 2 meses para su fabricación se realizan en un comienzo simulaciones virtuales sobre el modelo 3D donde se cargaron las propiedades de densidad (0,001g/mm³) y el módulo de Young (1,3 GPa) del material a utilizar.

Se comenzó un molde para compresión, con la guía y ayuda de Sistemold, para la pieza más larga del pallet, sólo se logró avanzar

con este molde debido a lo acotado de los tiempos, pese a esto se continuará trabajando en Sistemold con la ejecución de las piezas faltantes por si en el futuro alguna alumna o alumno se interesa en continuar con este proyecto. En la figura 80 se puede ver el estado de avance del molde.



Figura 80: Postizos mecanizados para la tabla deck y patín.

Análisis de Ciclo de Vida

Mediante el software facilitado por la empresa Beloop, se efectuará un análisis de ciclo de vida a un pallet de madera y se compararán los resultados con el pallet desarrollado en esta tesis. El análisis de ciclo de vida consta en analizar el impacto ambiental que la fabricación, uso y fin de vida genera ya sea a nivel social, material o energético, entre otras variables, con la finalidad de tomar mejores decisiones en cuanto a las etapas de diseño, la producción, uso y término de su vida útil y hacerlas más sostenibles.

Se definió como unidad funcional 30 ciclos de uso (Deviatkin et al., 2019b) cuyos recorridos son desde Sistemold Casablanca hasta Soprole San Joaquín, Santiago, que en total representan 83,5 km. El fin de vida para ambos productos es el tratamiento de residuo sólido municipal. Se tomó como referencia un pallet de madera normal con 7 tablas, 9 bloques y 78 clavos y, para el pallet de SCRAP la opción de pallet liviano.

Debido al estudio acotado que se realizó sólo se analizó el CO₂ eq. que se liberó en ambos procesos los cuales se desarrollan de

la puerta a la tumba, en el Anexo 7 está el desarrollo de cada punto y en las figuras 81 y 82 se puede ver el resumen de estos valores, donde se ve claramente que el

pallet de madera indicó emitir menos CO2 en todas las categorías a excepción del fin de vida del producto.



Figura 81: Análisis Beloop pallet de madera.



Figura 82: Análisis Beloop pallet SCRAP.

Análisis Costo-Beneficio

La estructura de costos, generada con la asesoría de Sistemold daría un valor final al usuario de \$19.942 para el pallet liviano con un 20% de utilidad, amortizando los moldes en 2 años, los cuales tendrían un valor

aproximado de 24 millones de pesos chilenos. Se destaca en esta estructura el alto valor del proceso debido al lento ciclo que generaría tener sólo un molde disponible para hacer cada pieza, Sistemold recomienda aumentar la cantidad de cavidades de compresión para hacer el ciclo

más rápido, esto encarece los moldes, pero bajaría el costo unitario del pallet.

Actualmente los pallets plásticos tienen un valor aproximado de \$20.000 en el mercado, la opción más económica y liviana del pallet diseñado se acerca a este valor, aunque el objetivo es competir con los pallets de madera. Se espera que en trabajos posteriores se pueda optimizar tanto el diseño como los procesos de fabricación para llegar a un pallet tan económico como los de madera.

Tomando en cuenta ambos análisis, pese a que se está disminuyendo la polución de plásticos y la contaminación en áreas abiertas como lo son los vertederos, el pallet desarrollado no puede competir al menos en estos dos ámbitos con el pallet de madera.

CONCLUSIONES

Esta memoria de tesis cumple el objetivo general, se demuestra a lo largo del escrito la posibilidad de reciclar un material tan complejo como el SCRAP de los desechos del cartón, y por ende, muchos otros desechos podrían serlo también, por otro lado, pese a que el valor comercial no es competitivo aún con un pallet de madera se abre la posibilidad de posteriores estudios para la optimización del diseño, en particular de los tacos, así como del proceso de fabricación, valores predominantes en la composición de la estructura de costos. Se cumplió completamente los objetivos 1 y 2, y 3 y 5, mientras que el objetivo 4 se completó parcialmente, a continuación, se detalla cada objetivo.

En cuanto al primer objetivo (estudiar los desechos industriales plásticos disponibles en la región), se estudiaron los desechos plásticos donde destaca la categoría “otros plásticos” con un 22,4% que está en segundo lugar luego del “PE”, con un 34,8%. Lo alarmante de la categoría “otros” no es el volumen de producción anual, sino el hecho en que actualmente en Chile no existen entidades dispuestas a valorizar o tratar estos materiales. Sistemold conoce este contexto y experimenta con diversos

residuos existentes en la región, se analizaron las mejores opciones disponibles con la herramienta Rueda de LIDS, debido a lo cual se decidió trabajar con los desechos del reciclaje de cartón, el cual se compone en un gran porcentaje por plásticos diversos y pulpa de cartón.

Para el segundo objetivo (estudiar los pallets existentes y los más utilizados por la industria de la V región) se realizó un benchmarking analizando el valor de cada pallet y sus características, el ítem precio toma relevancia en esta investigación ya que en las entrevistas realizadas se descubrió que el público busca las mejores propiedades físicas y mecánicas con un bajo precio, sacrificando a momentos las necesidades mecánicas por conseguir un menor valor. En este análisis se descubrió que en general, los pallets plásticos no se diseñan para ser reparables ya que son una pieza única que no cuenta con partes ensamblables, por otro lado, los ampliamente utilizados pallets de madera, además de tener un valor económico menor, también cumplen con las características de reparable, reutilizable, mejorable, además de tener un costo económico menor. De esto se desprende que en el mercado actual, el

pallet de madera es la mejor opción y por ende, el más utilizado en la región.

Continuando con el objetivo 3 (realizar mezclas de los materiales seleccionados y analizar la resistencia mecánica de las muestras), debido a un error en el software utilizado sólo se rescató la información de la prueba de tracción del material al 70% de SCRAP de cartón y 30% de bolsas recicladas, se realizó el ensayo de flexión (norma ASTM D790-17), tracción (norma ASTM D638-10) y fluidez (norma ASTM D1238-20) siguiendo las normas ASTM mientras que el estudio de densidad se hizo de forma manual. Como trabajo futuro se espera poder volver a hacer estos ensayos mecánicos con un equipo más adecuado para el material en particular.

En relación al objetivo 4 (desarrollar un prototipo funcional de un pallet con el material analizado) se hizo 3 versiones de un prototipo digital con la herramienta Autodesk Fusion, las cuales han sido sometidas a simulación de tensión estática y prototipo de la esquina del pallet para probar la usabilidad. Se avanzó considerablemente con el molde para realizar la primera tabla del pallet considerando que los tiempos

mínimos de fabricación de un molde son de 6 meses.

Y, finalmente, en cuanto al objetivo 5, se utilizó el software de Beloop en el cual se hicieron suposiciones para disminuir el tiempo de análisis de un pallet de madera convencional y el pallet desarrollado. Los resultados fueron concluyentes indicando que sólo en el fin de vida el pallet de SCRAP emite menos CO2 eq.

Esta tesis contribuye al campo de la ingeniería en diseño de productos sostenibles al proponer un modelo de pallet armable que no solo reduce el uso de plástico virgen y madera sino que también aprovecha residuos industriales que actualmente van a parar al vertedero.

Por otro lado, utiliza un método replicable para la evaluación y diseño de productos sostenibles utilizando herramientas como la Rueda de LIDS y la hoja de exploración del ciclo de vida del producto.

Dentro de los límites de esta investigación, una de ellas es la falta de una infraestructura establecida para la logística inversa, lo cual

es crucial para la recuperación y reciclaje efectivo de los pallets al final de su vida útil.

Otra limitación es el material, ya que al ser diverso y en algún grado cambiante limita la proyección de un producto uniforme sin constante revisión, lo cual puede afectar en la credibilidad del producto.

Finalmente, el hecho de que en la actualidad no exista tecnología que permita separar adecuadamente este material y tratarlo para volverlo materia prima de una forma económica y viable es una limitante tanto para este proyecto como para la sostenibilidad en general.

Dentro de los trabajos futuros está el complementar los ensayos mecánicos con pruebas de impacto, fluencia y fatiga. Por otro lado, es importante profundizar en el Análisis de Ciclo de Vida del producto ya que el software actualmente está optimizado para packaging y está en evolución, por ende, se espera que en el futuro este tipo de productos, con materiales y procesos complejos, puedan analizarse de forma completa además de poder evaluar más indicadores para tener una visión integral sobre el real impacto de un pallet de madera

y un pallet de SCRAP en el medio ambiente. Por otro lado, optimizar el costo de la producción y mejorar el diseño para que resista una mayor carga teniendo una menor cantidad de piezas o menos masa por pieza y evaluar el tiempo real de armado para lograr la competitividad total del pallet en el mercado, incluyendo los pallets de madera.

ANEXOS

ANEXO 1: Entrevistas

Entrevistado: Juan Milstein, dueño de Fosko.

Fecha: 15-04-2024

Lugar: Empresa FOSKO

P1: ¿Cuáles son las normas a las que están adheridos?

Juan Milstein: Estamos adheridos al APL, tenemos las normas DFsC 22.000 iso 9.001 2.015, nos controlan todo. Esta es una empresa que tiene sistema de canales calientes, sistema de máquinas avanzadas, todos los envases son con paredes delgadas y de bajo peso. Hoy lo hacemos de la mitad del espesor, 50% menos, por eso es que ves Soprole, Whats, Colum, Nestlé, Loncomilla, Carossi, todos estos envases. La sostenibilidad la vemos a través de no aceptar, antes aceptamos y tuvimos grandes discusiones con clientes, hoy ya saben que no, todos los envases son de polipropileno, material apto para uso humano con etiqueta de polipropileno. No aceptamos etiquetas de

papel porque después cuesta sacar el papel. Bajo ese esquema nosotros usamos nada de reciclado, del reciclado interno que sirve cuando es transparente o de algún color y después vendemos un poco de residuo que es como el 3, 4% cuando ya salió con aceite, salió con algo, el aceite lo retira una empresa que lo recicla, no tenemos riles, no tenemos nada. No tenemos residuos de agua, no tenemos riles de aceite, estamos conectados a un alcantarillado de una planta tratadora en el condominio, esa planta tratadora te revisa si va algo, guante, látex te reclama y te vas fuera te sacan, nosotros no tenemos nada, una vez se fueron los de gente pero después se controló. Lo último que recibimos fue una auditoría SMETA, fue una auditoria internacional que nos aplicó Nestle, para justamente ver que cumplimos con todo, con la gente, con los trabajadores extranjeros, con los contratos. Una de las preguntas era, cuando compraste el terreno, era territorio indígena... Pero la pasamos bien, de todas las empresas en Chile fueron 2 que la cumplen.

P2: ¿Cuál es el material más difícil de manejar?

Juan Milstein: Tenemos un pomt, que es una resina acetálica que se hacen los gatillos de los dispensadores pero que es nada, derepente alguien lo compra para hacer algo especial duro pero serán muy poco, antes hacíamos mucho pvc, gotarios y cosas de pvc, no hacemos más pvc, después nos queda un poco de poliestireno, que se vende también pero estamos eliminando, antes fosko era mucho poliestireno y cristal, lo cambiamos cuando apareció la petroquímica en chile, cambiamos todo, nos fuimos a polipropileno, cambiamos los espesores, cambiamos los diseños, hoy día te diría, usamos polietileno también, de baja o de alta para las tapas del café, que también se recicla en un 100%, no tienen nada, debe ser 80% polipropileno 15% polietileno, poliestireno 3 o 4% y un 1 o menos del material que es complicado reciclar. Pero el 99% todo lo nuestro se utiliza y el poco scrap se lo pelean, 300 400 pesos se vende el kilo.

P3: ¿Cuál es la rotación y vida útil dentro de la empresa?

Juan Milstein: Aquí se usan pallets plásticos en el interior de la empresa, pallets de madera se lo lleva el cliente, 2.500 pesos cuesta más menos, y lo otro es el CHEAP

que hay algunos clientes que nos piden que le mandemos y hay bajo 2 normas, uno que lo vienen a buscar acá que cuesta más por el periodo que tú lo tienes, y otra en que acordamos que esto lo tiene el cliente entonces anda a buscarlo allá, lo mandamos el día primero y tienen como 10 días para ir a buscarlo. Eso es. La vida útil más menos, bueno yo creo que es, termina cuando lo venden. Cuando se despacha, o sea, nosotros vamos comprando, en la medida que llegan se cargan se llevan y ya el cliente sabrá lo que hará.

P4: ¿Qué requerimientos especiales tienen para los pallets?

Juan Milstein: Yo creo que sí, me envías la pregunta.

P5: ¿Qué volumen necesitan de pallet?

Juan Milstein: Todas esas preguntas me las haces luego yo te las respondo.

P6: ¿Cómo son de madera casi siempre son reparables y reutilizables?

Juan Milstein: Aquí alguien viene se los lleva y los repara, algunos clientes no sé si los mandan de vuelta, algunos.

P7: ¿Dentro de la empresa tienen inversión en tecnología o prácticas innovadoras relacionada a los pallets?

Juan Milstein: Sí se palletiza, con esquineros. Aquí esa pregunta la tenemos para el departamento I+d.

P8: Respecto a la cadena de suministro del pallet, ¿cuál es la percepción sobre la responsabilidad social y ambiental?

Juan Milstein: Si tú me preguntas a mí, gerente, dueño, te diría que sí me encantaría que se hiciera de plástico reciclado porque se deja de usar un recurso como la madera, que se podría usar para otras cosas.

Entrevistada: Fernanda Lozier, Subgerenta de Sostenibilidad Soprole.

Fecha: 12-04-2024

Lugar: Vía Zoom

P1: En cuanto a sostenibilidad, ¿cuáles son las políticas y estrategias que tiene la empresa en cuanto a sostenibilidad y gestión de residuos?

Fernanda Lozier: Nosotros tenemos super definidos en cuanto a los residuos tenemos una meta de cero residuos para relleno sanitario que son los residuos que se generan aquí en la planta. Por lo tanto siempre estamos potenciando poder recuperar y reciclar la mayor cantidad de nuestros residuos de nuestra planta, y en cuanto a packaging tenemos todo un rougmark para que el packaging de nuestros productos sea también de envases reciclables.

P2: ¿Cuál es el tipo y la cantidad de residuos que tienen?

Fernanda Lozier: En términos de residuos tenemos los despuntes de las plantas, cuando envasas un yogurt hay ciertos pedacitos de plásticos que las máquinas van haciendo despuntes, lo mismo que las máquinas tetrapack y los packaging donde vienen todos esos materiales, cartones,

plásticos. Y por otro lado las mermas, lo que se genera como mermas de planta que en algunas situaciones está en una buena situación que se puede recuperar ese plástico también.

P3: ¿En la empresa de ustedes cuál es el material más difícil de manejar en este momento?

Fernanda Lozier: Bueno todos los materiales tienen su complejidad, pero en general tenemos una solución bastante definida para cada material, el tetra se recicla y, los dos o 3 materiales que más tenemos el el tetra, el cartón y los plásticos de yogurt y postres, eso es lo que más tenemos, en el caso del tetra y el cartón bueno, ahí eso tiene una vía ya desarrollada y podría ser que el plástico 6b estero digamos.

P4: ¿Manejas algún valor de cuánto actualmente reciclan, desechan y reutilizan?

Fernanda Lozier: No sé el dato exacto de las toneladas, pero estamos valorizando sobre el 80% de los residuos que generamos.

P5: ¿Y por lo que me dijiste apuntan al 100%?

Fernanda Lozier: Lógico.

P6: En cuanto a los pallets y su logística, ¿cuál es la rotación y vida útil más menos?

Fernanda Lozier: No sé exactamente, pero lo que se hace con los pallets es que se envían a los supermercados y de los supermercados después se devuelven a la planta, no tengo número exacto, pero lo que sí sé es que hay muchos pallets que se pierden, se rompen en el camino, el pallet no dice de qué empresa es por ende se confunden, el pallet de madera es muy estándar todos lo tienen y anda dando vueltas por ahí.

P7: ¿En relación al pallet, qué pallet utilizan?

Fernanda Lozier: Hay 2 tipos, el de 1x1, 1,05... nosotros usamos el estándar de madera para la distribución de los productos.

P8: ¿Tienen alguna especificación que el pallet deba cumplir?

Fernanda Lozier: No manejo el detalle pero lo más importante es que resistan el peso, un pallet de leche llega a los 900 mil kilos, un pallet de yogurt 600, lo más importante es

que sean resistentes y seguros para que las personas que los ocupen no tengan ningún riesgo.

P9: ¿Tienen tecnología o prácticas relacionadas a la gestión de los pallets?

Fernanda Lozier: No soy del área de logística pero sé que los pallets no tienen chip ni los seguimos.

P10: ¿Entonces no tienen sistema de trazabilidad?

Fernanda Lozier: Lo desconozco pero tiendo a pensar que no.

P11: ¿Quizás el que tienen no es el más adecuado porque se confunden los pallets que llegan entonces no es el sistema más diferenciador?

Fernanda Lozier: Claro.

P12: ¿Cuál es la percepción que tienen en la responsabilidad ambiental y sostenible del sistema de suministro del pallet?

Fernanda Lozier: Primero que el material del que se construye el pallet sea de una

materia prima que conozcamos, también estamos muy conscientes en poder recuperar ese pallet y no comprar pallets nuevos, uno porque nos sale más caro como Soprole y porque no vemos ningún beneficio en estar generando pallets nuevos, pero lo que te planteaba antes que hay una complejidad porque hay un mundo de pallets, se confunden entre todos.

P13: ¿Tú me comentaste que tienen muy pocos pallets de plástico, eso se debe al valor, resistencia física, a qué se debe?

Fernanda Lozier: No, tenemos un par de pallets plásticos que se usan dentro de la planta para contener materias primas o materiales de packaging pero siempre están dentro de la planta, y son de plástico porque como están dentro de una planta productiva entonces imagina que les cae un poco de yogurt son más fáciles de lavar y mantener limpios, en cambio un pallet de madera es más difícil su limpieza en caso de que se rompa un yogurt encima, entonces tenemos un par muy específicos en lugares muy particulares de la planta pero siempre los compramos pensando en la calidad, que sean más prácticos en ese sentido.

P14: ¿Entonces si se rompe la carga dentro de un camión esos pallets tendrían problema para reutilizar?

Fernanda Lozier: Yo creo que sí, entendemos que si llega un pallet roto se juntan todos los pallets rotos y se compostan solo si no se puede reparar, ahora si están contaminados con productos tendrían que compostarse.

Tabla 8: Resumen de entrevista 1, Pallets y sostenibilidad

Pregunta	FOSKO	Soprole
Políticas y estrategias de sostenibilidad	Adheridos al APL, normas DFsC 22.000 iso 9.001 2.015	Meta de cero residuos para relleno sanitario
Tipo y cantidad de residuos	Principalmente polipropileno, polietileno, poliestireno	Despunte de las plantas, mermas de planta
Material más difícil de manejar	Resina acetálica (POMT)	Todos los materiales tienen su complejidad
Prácticas de gestión de residuos	Reciclado interno, venta de residuo	Recuperación y reciclaje de la mayor cantidad de residuos
Rotación y vida útil de los pallets	Usan pallets plásticos en el interior de la empresa, pallets de madera se lo lleva el cliente	Se envían a los supermercados y después se devuelven a la planta
Sistema de trazabilidad de pallets	No tienen	No tienen
Requerimientos especiales para los pallets	Resistencia al peso (200 kg)	Resistencia al peso (900 kg)
Prácticas innovadoras para la gestión de pallets	Palletiza, con esquineros	No especificado
Responsabilidad social y ambiental en la cadena de suministro	Prefieren pallets de plástico reciclado	Recuperar el pallet y no comprar pallets nuevos

Anexo 2: Benchmarking

Tabla 9: Benchmarking de pallets

Pallet	Imagen	Link	Precio (CLP) + envío	Material	Peso (kg)	Dimensiones (mm)	Lugar de origen	Resistencia a la compresión (kg)	Tipo
Material reciclado		https://tradepallet.com/shop/es/comprar/1-pallet-de-plastico	8016 + 5443	PP Reciclado	2,9	144x790x590	España	815	Encajable, 50% de ahorro en espacio
CocoPallet		https://www.cocopallet.com/what	-	Cáscara de coco y lignina	-	1200 x 1000 x 115 / personalizable	Amsterdam / Filipinas	1000	Encajable, 70% de ahorro en espacio, compostable, customizable
Pallet de madera		https://tienda.abastecer.cl/producto/pallet-de-madera/	4986,1	Madera	10	1200 x 1000 x 140	Región metropolitana	1000	Reparable
Pallet plástico		https://cambiente.cl/producto/pallet-one-way-vent-9-jaco-ole/7arsatid=AfmBOqp8BpY85UjdFLuzBPYm5wK1TTWFNGASfzID3oP5PIUG1WopleEGPxk	19400	PP	6,2	1000 x 1200 x 150	Región metropolitana	500	Cumple con normativa internacional NIMF-15, encajable
Pallet plástico usado		https://articulo.mercadolibre.cl/MLC-1490637775-pallets-plasticos-usados-100x120-mts-_JM?searchVariation=n=180655133234#searchVariation=180655133234&position=2&search_layout=grid&type=item&tracking_id=ff121916-e600-4134-b8ae-6ae6dddb0d4	3990	-	-	1000 x 1200	Región metropolitana	-	Encajable, reutilizable
Pallet usado de madera		https://articulo.mercadolibre.cl/MLC-1490650871-pallets-usados-100x120-mts-_JM?searchVariation=n=180655178154&quantity=1	2990	-	-	1001 x 1200	Región metropolitana	-	Reutilizable, reparable

Disponible en el siguiente link (página 2) https://usmcl-my.sharepoint.com/:x/g/personal/natalia_debeluck_usm_cl/Eak55IpiFaZOjhtAKNN4Z3oBq2Yfqled9UJCussC5o0vmA?e=PxtA7R

Anexo 3: Lifecycle exploration sheets

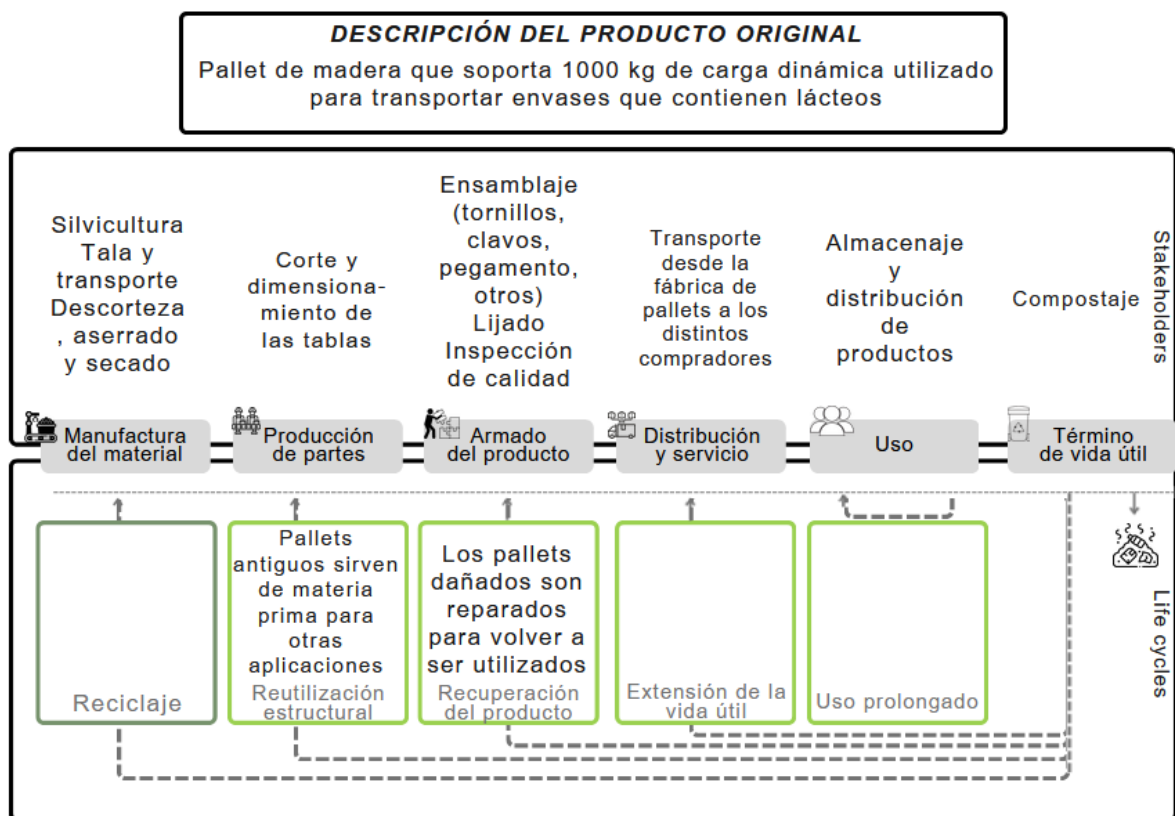


Figura 83: Aplicación de la “Lifecycle exploration sheets” al pallet actual utilizado por Soprole.

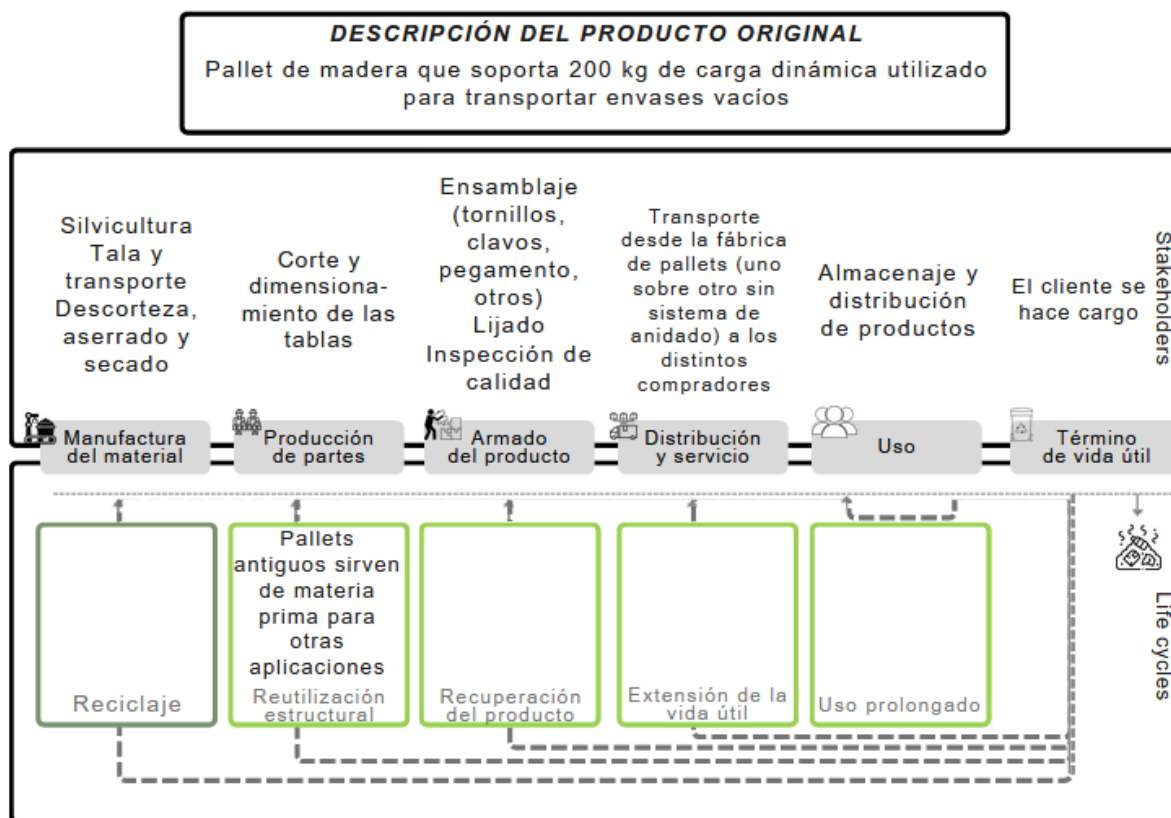
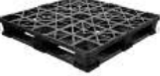


Figura 84: Aplicación de la "Lifecycle exploration sheets" al pallet utilizado por Fosko

Anexo 4: Análisis de pallets

Tabla 10: Análisis de pallets

	Cantidad y tipos de apoyo	Entradas para la transpaleta o máquina encargada de la manipulación del pallet	Superficie sostenedora de la carga a transportar	Método de refuerzo	Cantidad de piezas	Características	Rubro de uso	Dimensiones en mm	Normas que cumple	Capacidad de transporte en Newtons	Peso en kg	Material	Link
	4 esquinas (sólo borde)	no aplica	Maila con paredes separadoras	Nervaduras	13 (1 el contenedor y 12 los organizadores)	Apilable, organizador, protector	Transporte o almacenaje de vasijas, restaurantes.	141.224 x 501.65 x 501.65 mm3	NSF según estándares internacionales (cual? No se)	20 compartimiento s	3.1751 kg	Plástico beige	https://www.restaurantssupply.com/vollrath-3r5a-beige-20-compartment-5-pac-full-size-cup-rack-with-1-open-end-ender
	9 cubos con 3 tablas que unen 3 cubos a lo largo	4 277x100 y 854 mínimo	5 tablas con espacios entre ellas. 78 clavos	3 tablas que unen 3 cubos cada una a lo largo y 6 cubos	11 tablas	Reparable	Logística en general	1200 mm x 800 mm x 144 mm3	ISPM #15, EPAL, IPPC	39,200 N	No especificado	Madera	http://bmc-pallets.com/products/pallets/pallet-#side-1-3 https://ma-desan.cl/index.php/principal/frecuente
	9 pies de bloque, sólo el borde del bloque	4 compatible con casi todos los montacargas y carretillas manuales	texturizada por el proceso de fabricación, lisa, deck cerrado	Nervaduras	1	Apilable, para exportación, resistente a plagas, estable	Genérico de transporte local e internacional, transporte de tambores	1210.2 mm x 1210.2 mm x 133.35 mm	No especificado	Carga estática/piso: 88,000 N (20000 lbs) Carga dinámica/fork: 26,700 N (6000 lbs)	13.81 kg	HDPE	https://loneway-solutions.com/plastic-pallets/stackable-plastic-pallets-40-x-45-solid-deck-stackable-plastic-pallet-9-legs
	9 cinchos borde completo		4 Deck cerrado anti deslizante	Cámara de aire	1	Anti deslizante, apilable	General	1210.2 mm x 1010 mm x 105.1 mm	No especificado	Carga estática 44,500 N, Carga dinámica 13,372 N	11.34 kg	PP / HDPE	https://www.trangpak.com/products/sgma-distribution-45x60/
	9 cubos y 3 travessas. Se pueden agregar 12 topes antideslizantes		4 Ventilada	Hasta 6 perfiles de acero pueden ser incorporados según la capacidad de carga y los requisitos de seguridad	1	Apto para almacenamiento en estanterías altas	Transporte de cajas, tambores y big packs, elevación de contenedores IBC de 1000L	1200 mm x 1000 mm	No especificado	No especificado	14 kg	HDPE regenerado	https://www.rekubik.de/industrie/technik/industriestoffpalette/industriepalette-kunststoff-1200-x-1000-mm
	6 patines transversales en la base		4 Ventilado	Nervaduras y patin	2	Seguro para congeladores. Resistente a productos químicos apilables, rackeables, de exportación	Genérico, local e internacional	1092.2 mm x 1092.2 mm x 102.56 mm	No especificado	estática 78,338 N dinámica 22,240 N racking: 5,786 N	18.14 kg	Polyolefin ACM (mezcla propietaria de PP/PE/celulosa)	https://loneway-solutions.com/plastic-pallets/stackable-plastic-pallets-43-x-43-cable-stackable-plastic-container-pallet-assembled
	8, las 2 más cercanas unidas con tipo patin		4 Ventilada	Nervadura	1	Higiénico y fácil de limpiar, impermeable, rentable a largo plazo	General, especialmente en industrias con necesidades higiénicas	144 mm (altura), 190 mm (largo), 565 mm (ancho)	Directiva CE (apto para contacto con alimentos)	Resistencia a la compresión transversal: 8000 N Resistencia a la compresión longitudinal: 12000 N	2.8 kg / 6 kg tamaño normal	Polipropileno reciclado (PP)	https://tradepallet.com/shop/es/comprar/1-pallet-de-plastico
	9 borde completo		4 Deck cerrado texturizado	Diferencia de niveles	1	Reducción de costos y CO2 en la cadena de suministro. Diseño nestable ahorra hasta 70% en espacio de envío y almacenamiento. 100% natural y biodegradable. Valioso como mejorador de suelos al final de su ciclo de vida. Contribuye a la reducción de la pobreza de los agricultores. Pallet de exportación	General, local e internacional	1200 mm x 1000 mm x 115 mm	Exento de regulaciones ISPM15	Carga dinámica: 3,807 N (1000 kg), Carga estática: 19,614 N (2000 kg)	No especificado	Cáscara de coco + lignina	https://www.cocop

Disponible en el siguiente link (página 3) https://usmcl-my.sharepoint.com/:x/g/personal/natalia_debeluck_usm_cl/Eak55IpjFaZOjhtAKNN4Z3oBq2YfqIed9UJCussC5o0vmA?e=PxtA7R

Anexo 5: Desarrollo de conceptos y evaluación con la Rueda de LIDS)

Mapa de recorrido “del pallet”

Se modificó la herramienta “Customer journey map” como se ve en la tabla 9 para el estudio y desarrollo del concepto “pallet modular”. Se mantuvo la sección etapas (en negro) pero se generalizó las etapas indicando el cliente que usa el producto. Se mantuvo las secciones “actividades del

usuario, interacción, y soluciones posibles”. Se modificó “sentimientos” por “dificultad o puntos de mejora” y emociones por nivel de carga teniendo los valores “máximo” y “mínimo”, donde mínimo se refiere al transporte en vacío y un espacio intermedio sin denominación que alude a una carga menor que el mínimo, pero no se establece un valor específico.

Toda la información presente en esta tabla se inspira en las entrevistas realizadas a Fosko y Soprole y la investigación realizada previamente.

Tabla 11: Mapa de recorrido de un pallet

	Reparto a clientes	Fosko	Soprole	Supermercado	Reparto a nuevo cliente o logística inversa
Acciones del usuario (Actividades)	Palletizado y distribución de pallets	Despalletizado, palletizado y distribución de productos	Despalletizado, palletizado y distribución de productos	Despalletizado y distribución interna y a granel de productos	Palletizado y distribución de pallets
Interacción	Ordenar los módulos en el vehículo de transporte y, al llegar donde el cliente armar los módulos	Llenar de productos el pallet y almacenar hasta su distribución	Sacar los productos del pallet, almacenar pallets, llenar de productos transformados los pallets, almacenar hasta distribuir	Almacenar, sacar los productos del pallet y distribuir los productos de forma interna.	Desarmar los pallets, ordenar los módulos en el vehículo de transporte, armar para el siguiente cliente o devolver al productor de pallets
Dificultades o puntos de mejora	Aumentar la cantidad de pallets en las dimensiones del vehículo de distribución	Su producto es liviano, no le interesa las condiciones mecánicas, sólo el precio del pallet, ya que se lo entrega a "Soprole" y no le interesa tenerlo de vuelta	Su producto es pesado, necesita buenas condiciones mecánicas y un precio bajo	Que el pallet se divida le es útil para optimizar el almacenamiento siempre y cuando el módulo tenga gran estabilidad	Aumentar la cantidad de pallets en las dimensiones del vehículo de distribución
Nivel de carga	Máximo				
	Mínimo				
Tiempo de uso	Tiempo de transporte	Almacenaje + tiempo de transporte	Almacenaje + tiempo de transporte	Almacenaje + tiempo de transporte	Tiempo de transporte
Soluciones posibles (Oportunidades para mejorar la experiencia)	El diseño se debe optimizar para las dimensiones de un camión o de un container, es importante el medio de transporte de los pallets vacíos	El módulo debe ser versátil para resistir más peso o menos peso?	El módulo debe ser versátil para resistir más peso o menos peso?	El diseño se debe optimizar para la carga que transporta (¿de qué dimensiones son las cajas, yogurt, etc?, ¿cuál es la unidad más grande que transporta?	El diseño se debe optimizar para las dimensiones de un camión o de un container, ¿existe contacto entre el fabricante de pallet y este intermediario?

Rueda de LIDS: Diseño para el desmontaje

Rueda de LIDS: Diseño para el desmontaje

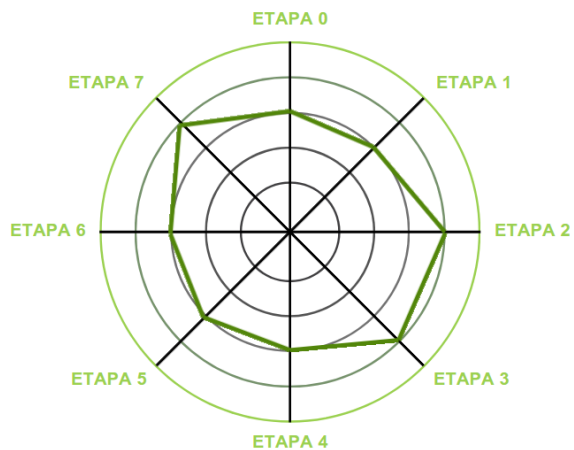


Figura 85: Rueda de LIDS aplicada a diseño para el desmontaje.

Rueda de LIDS: Diseño para la modularidad

Rueda de LIDS: Diseño para la modularidad

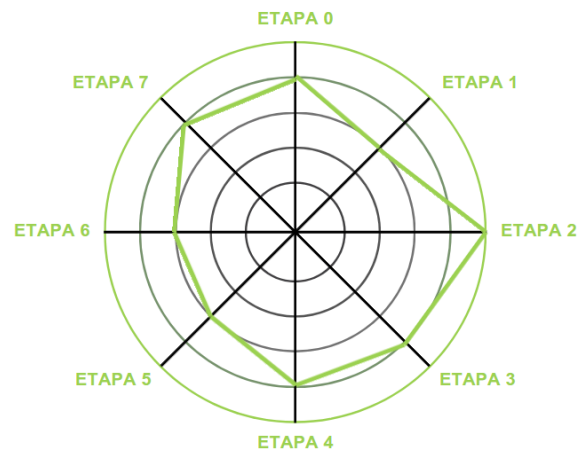


Figura 86: Rueda de LIDS aplicada a diseño para la modularidad.

Rueda de LIDS: Diseño para la remanufactura

Rueda de LIDS: Diseño para la remanufactura

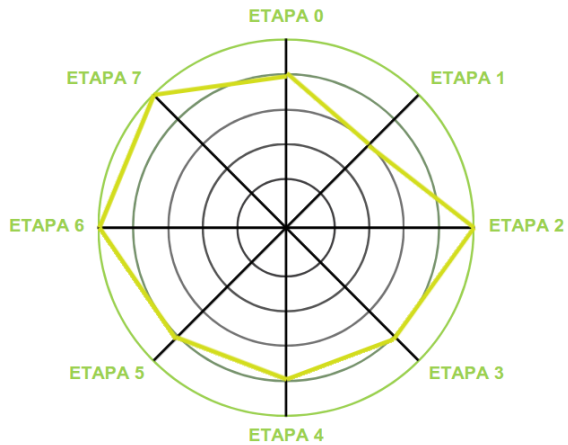


Figura 87: Rueda de LIDS aplicada a diseño para la remanufactura.

Rueda de LIDS: Diseño para la reciclabilidad

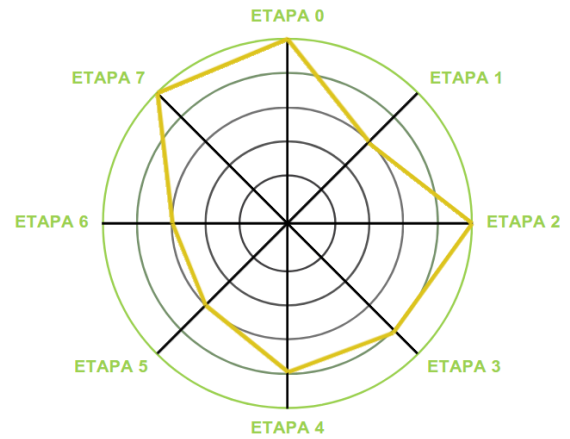


Figura 88: Rueda de LIDS aplicada a diseño para reciclabilidad

Rueda de LIDS: Diseño para la reciclabilidad

Rueda de LIDS: Diseño para la durabilidad

Rueda de LIDS: Diseño para la durabilidad

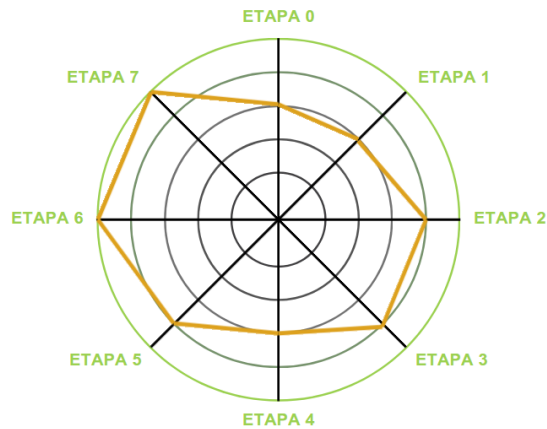


Figura 89: Rueda de LIDS aplicada a diseño para la durabilidad

Evaluación de Requisitos

Cálculo de factor de seguridad: Este fue el punto crucial para la decisión de considerar el diseño del pallet inspirado en el reciclaje, ya que, pese a tener un peso parecido y espesores similares, presentó una mejor resistencia en la simulación virtual.

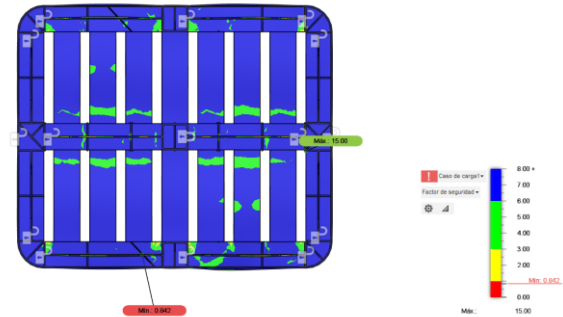


Figura 90: Resultado de simulación, factor de seguridad aplicando 1 TON de carga en concepto para la remanufactura. Vista superior. Elaboración propia.

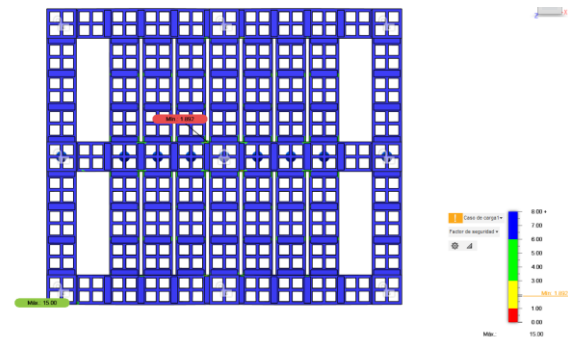


Figura 91: Resultado de simulación, factor de seguridad aplicando 1 TON de carga en concepto para el reciclaje con 9 tablas deck. Vista superior. Elaboración propia

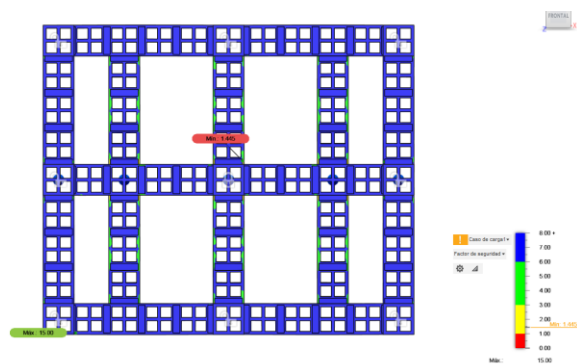


Figura 92: Resultado de simulación, factor de seguridad aplicando 1 TON de carga en concepto para el reciclaje con 5 tablas deck. Vista superior. Elaboración propia

Anexo 6: Desarrollo

Diseño del detalle: Unión

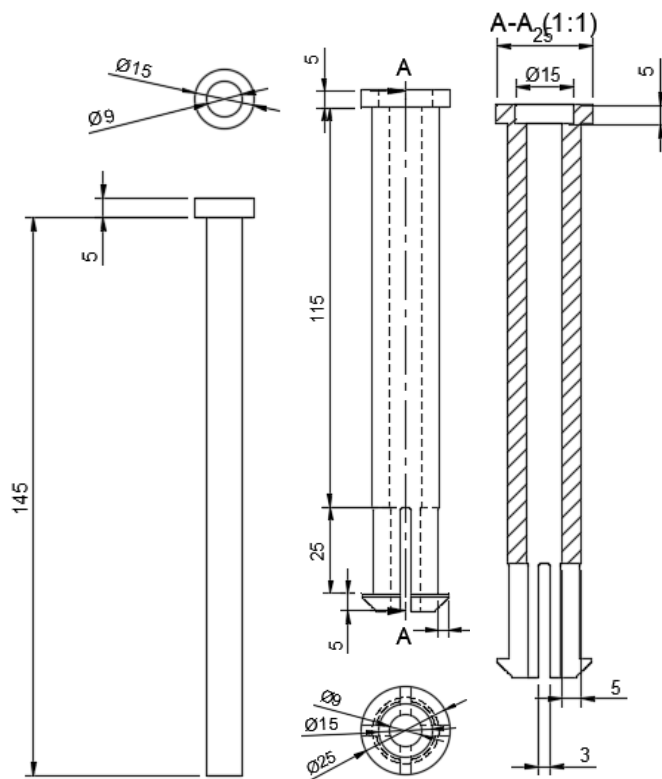


Figura 93: Seguro y clip

Diseño del detalle: Nervaduras

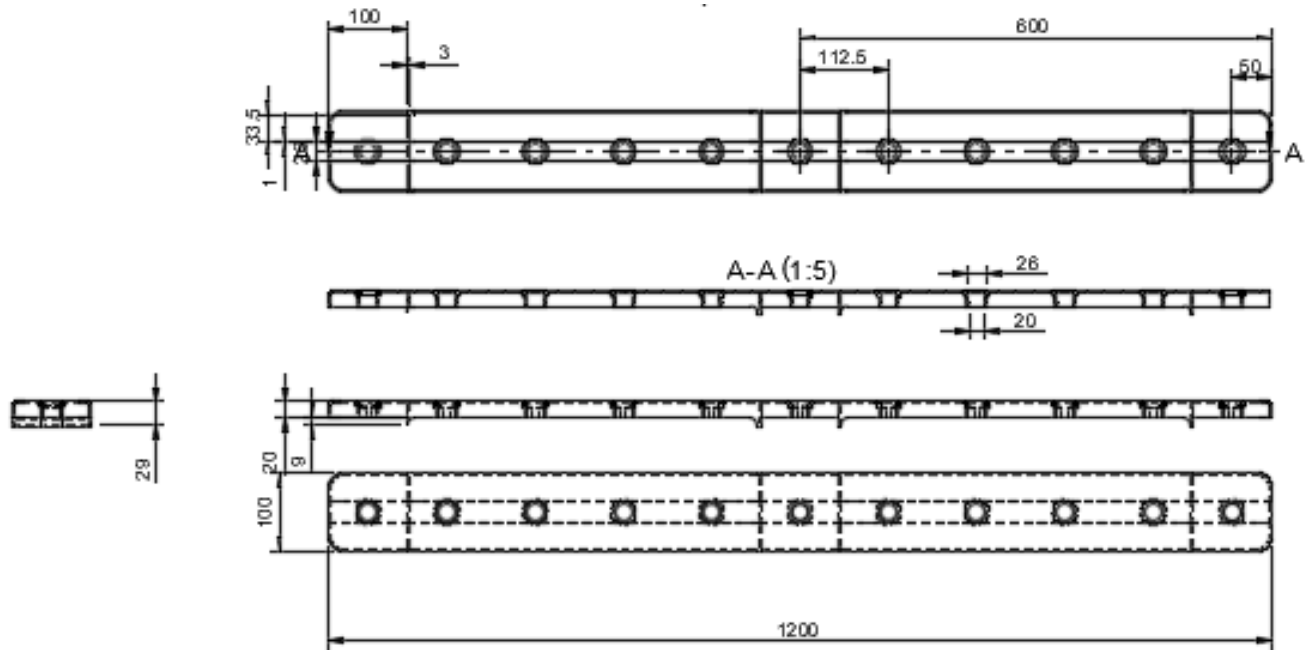


Figura 94: Detalle de nervaduras, tabla travesaño

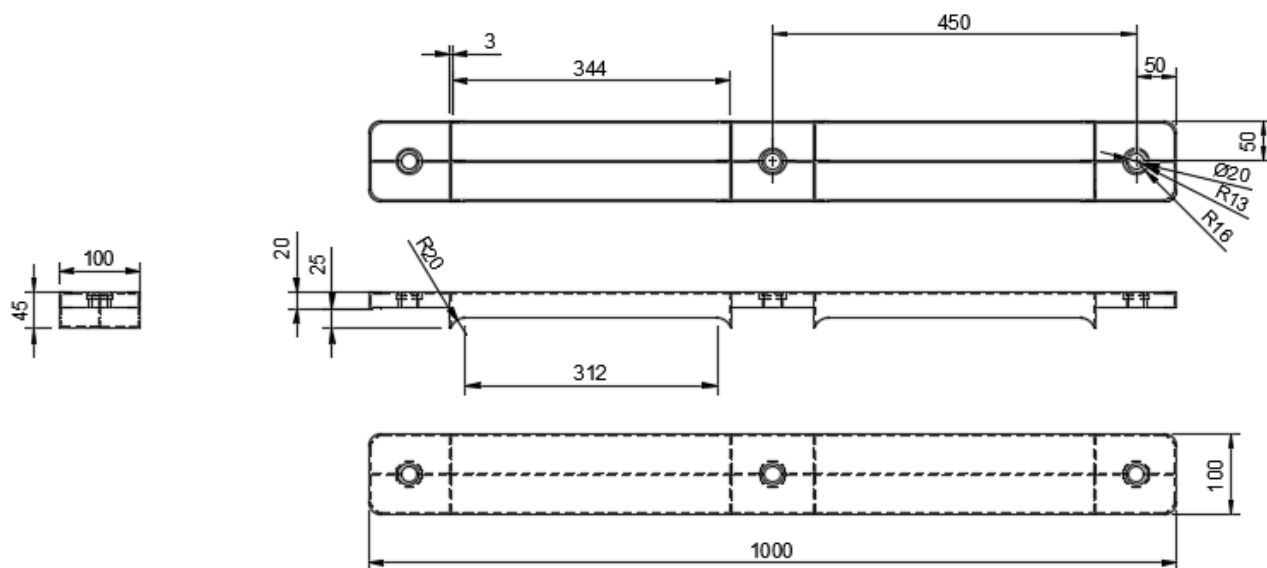


Figura 95: Detalle de nervaduras, tablas deck y patín

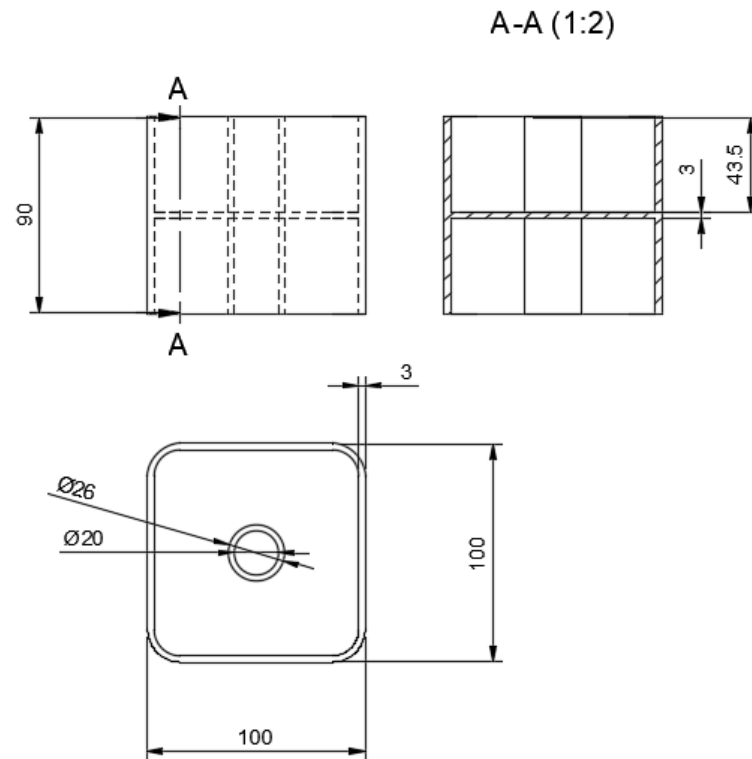


Figura 96 Detalle de nervaduras, tacos

En el caso particular de los tacos, las nervaduras se realizaron para disminuir la cantidad de material ocupado en esta pieza.

Pruebas mecánicas: Tracción

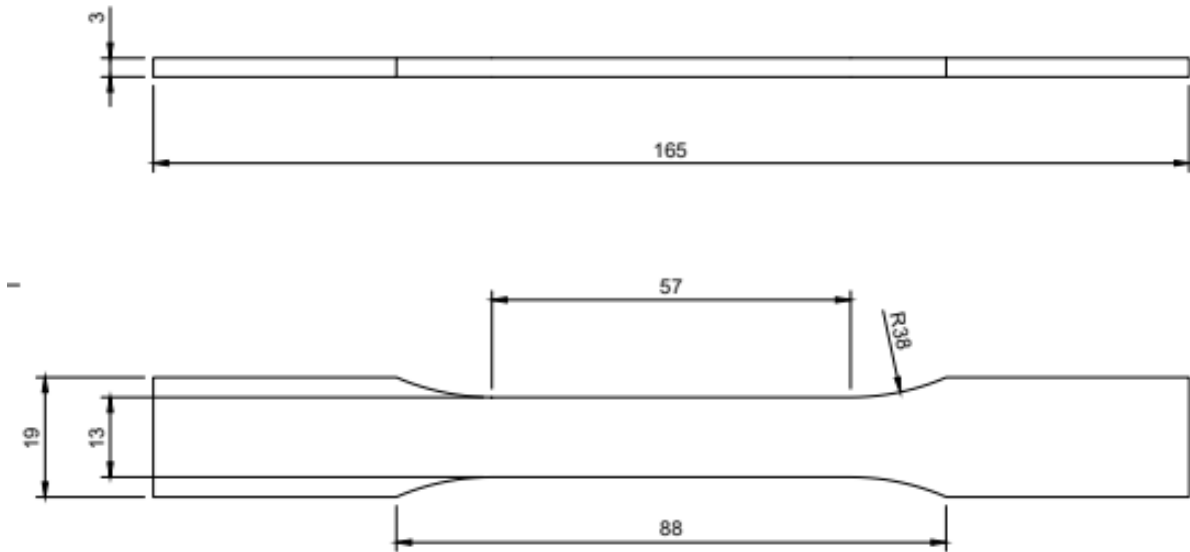


Figura 97: Dimensiones del cupón para el ensayo mecánico de tracción bajo la normativa ASTM D638-10.
Elaboración propia.

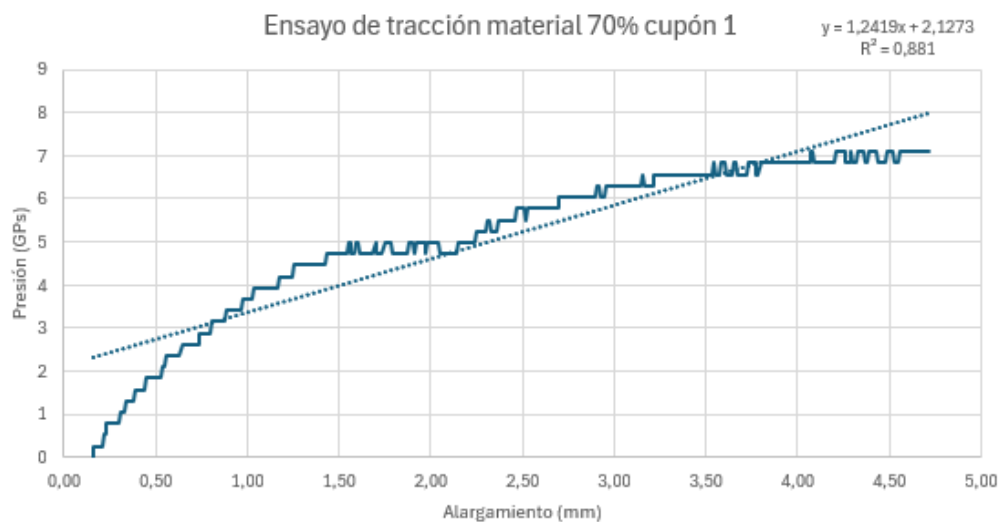
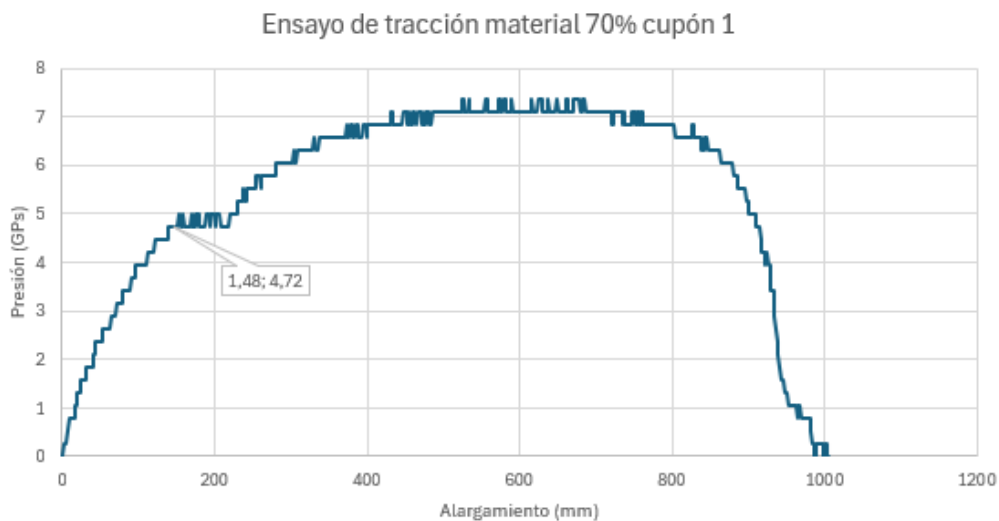


Figura 98: Gráfica de ensayo de tracción material 70% SCRAP, cupón 1.

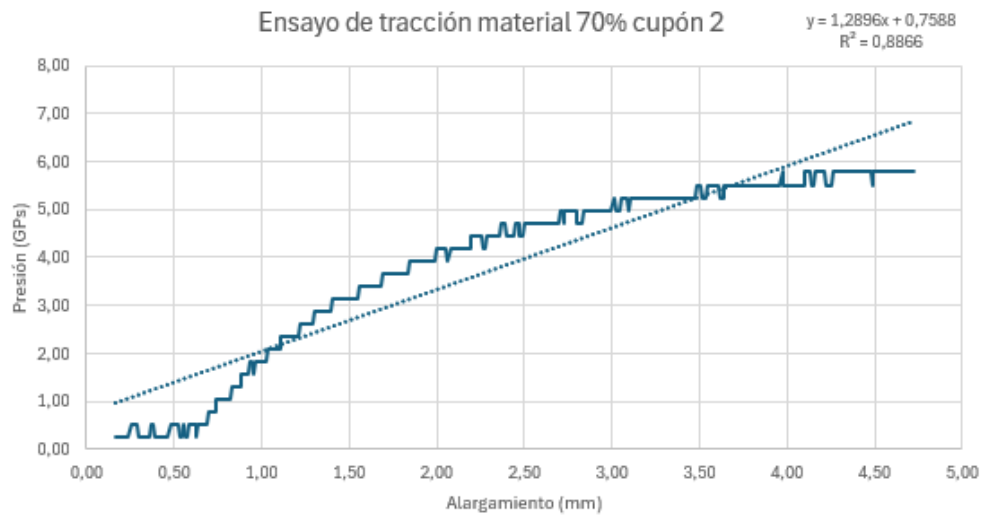
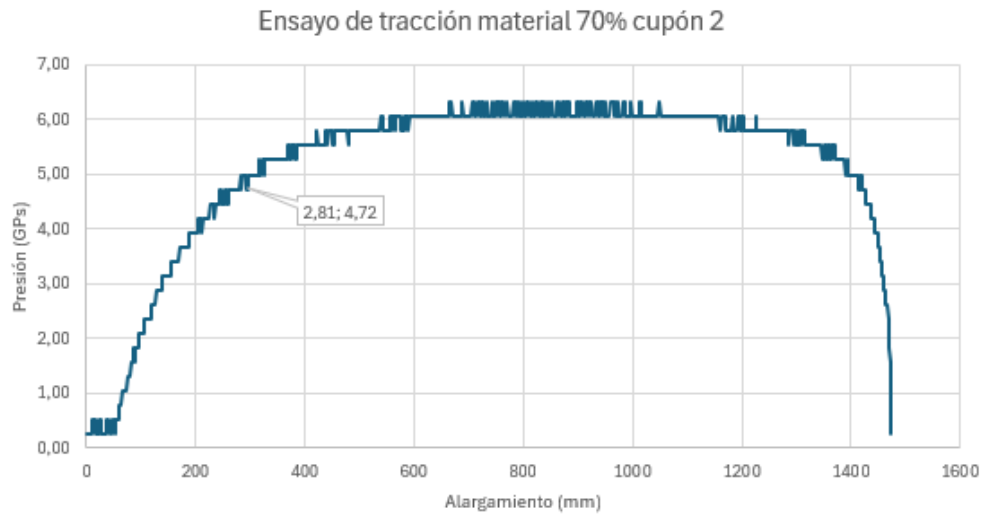


Figura 99: Gráfica de ensayo de tracción material 70% SCRAP, cupón 2.

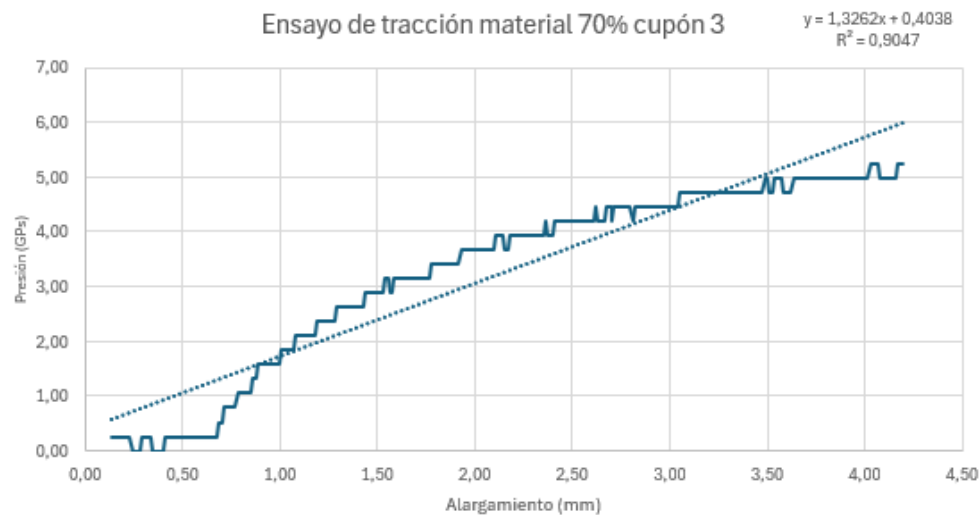
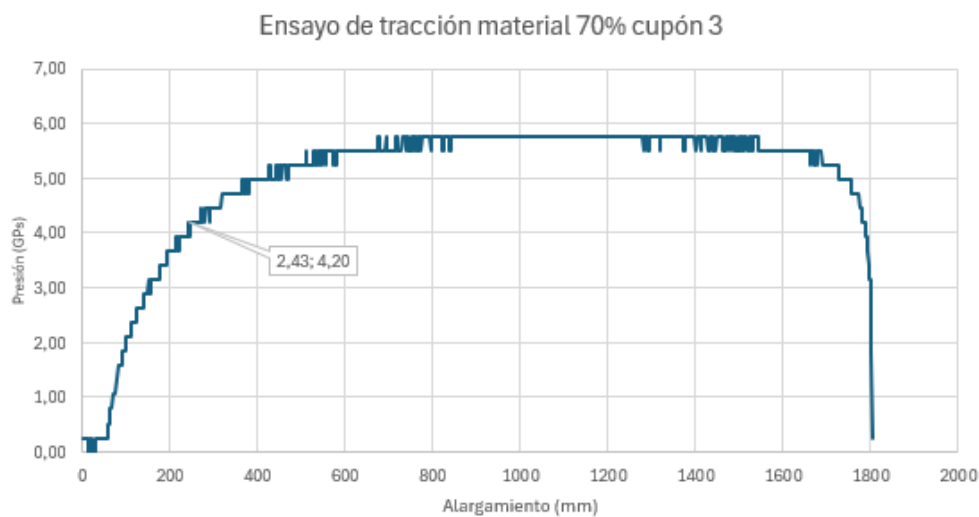


Figura 100: Gráfica de ensayo de tracción material 70% SCRAP, cupón 3.

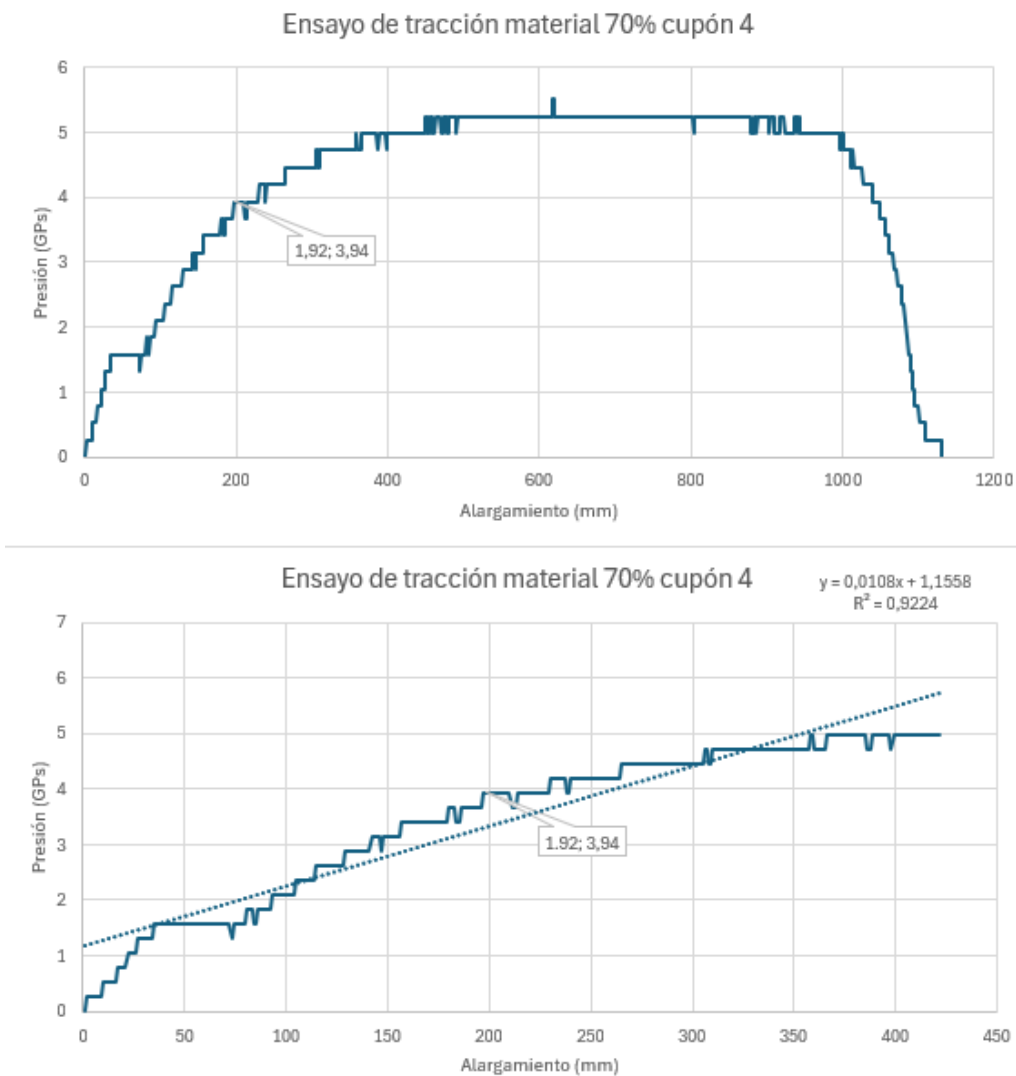
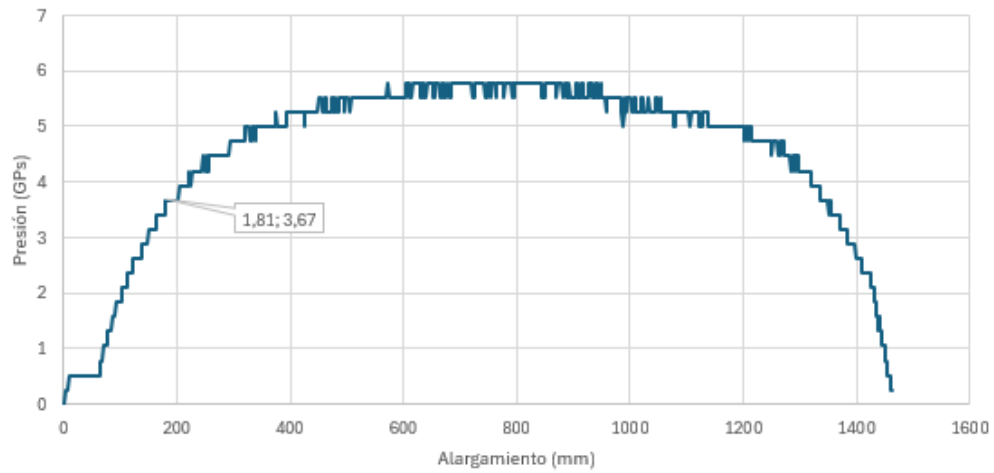


Figura 101: Gráfica de ensayo de tracción material 70% SCRAP, cupón 4.

Ensayo de tracción material 70% cupón 5



Ensayo de tracción material 70% cupón 5

$$y = 1,5298x + 0,2836$$

$$R^2 = 0,9283$$

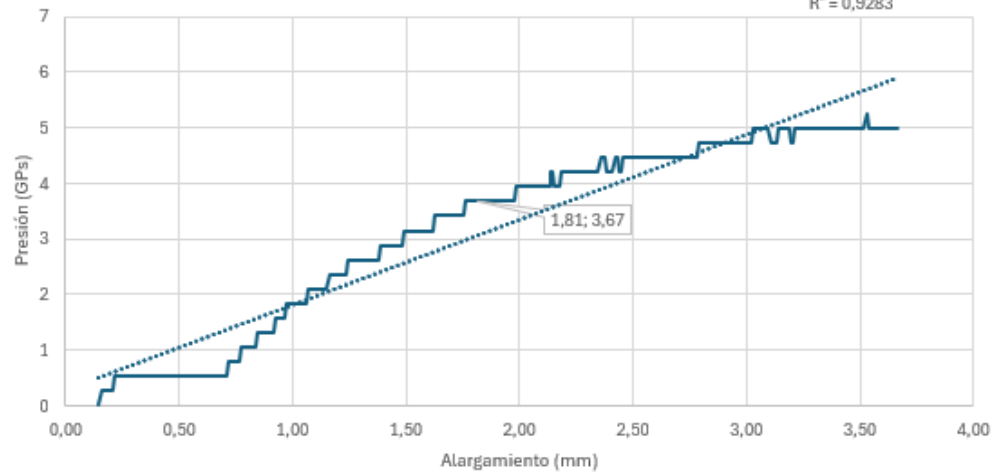


Figura 102: Gráfica de ensayo de tracción material 70% SCRAP, cupón 5.

Resultados encuesta Likert

Se unieron las respuestas de ambos módulos. Se encuestaron en total 6 trabajadores de Sistemold de distintas áreas, tanto administrativa como operarios.

3. ¿Sabes qué es un pallet?

[Más detalles](#)



4. ¿Sabes armar un pallet?

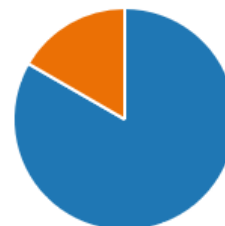
[Más detalles](#)



5. ¿Sabes armar muebles o seguir instrucciones como la de la impresión que te mostré?

[Más detalles](#)

● Si	5
● No	1



6. El clip es fácil de colocar sin necesidad de herramientas especiales.

[Más detalles](#)

● 1	0
● 2	0
● 3	0
● 4	0
● 5	6



7. Puedo ensamblar el clip rápidamente y sin problemas.

[Más detalles](#)

● 1	0
● 2	0
● 3	0
● 4	0
● 5	6



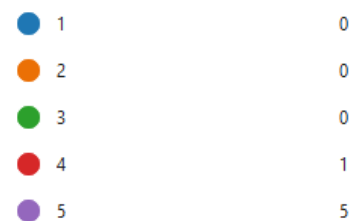
8. El clip reduce el tiempo que necesito para ensamblar o desarmar un pallet

[Más detalles](#)



9. No tengo que hacer mucha fuerza para que el clip encaje bien.

[Más detalles](#)



10. Es fácil entender cómo poner el clip en su lugar correcto.

[Más detalles](#)



11. El clip se mantiene firme y seguro después de instalarlo, no se suelta solo.

[Más detalles](#)



12. El clip no presenta bordes afilados o peligrosos que puedan causar heridas.

[Más detalles](#)



13. El clip parece ser lo suficientemente fuerte para soportar el uso diario sin romperse

[Más detalles](#)



14. El clip se puede manejar fácilmente, sin importar el tamaño de mis manos.

[Más detalles](#)



15. No me canso mucho al usar el clip repetidamente durante mi jornada de trabajo.

[Más detalles](#)



Anexo 7: Entrega

Lifecycle Exploration Sheet

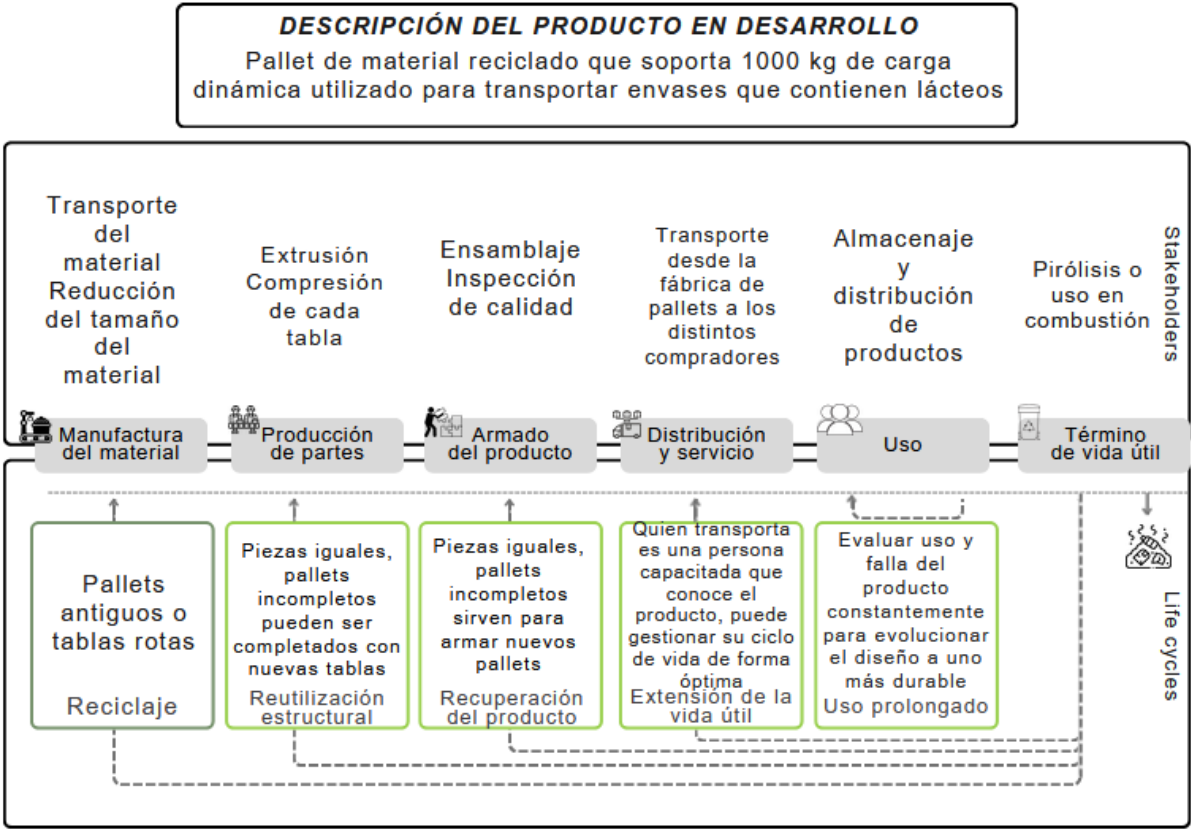


Figura 103: Aplicación de la "Lifecycle exploration sheets" al pallet final.

Diseño final

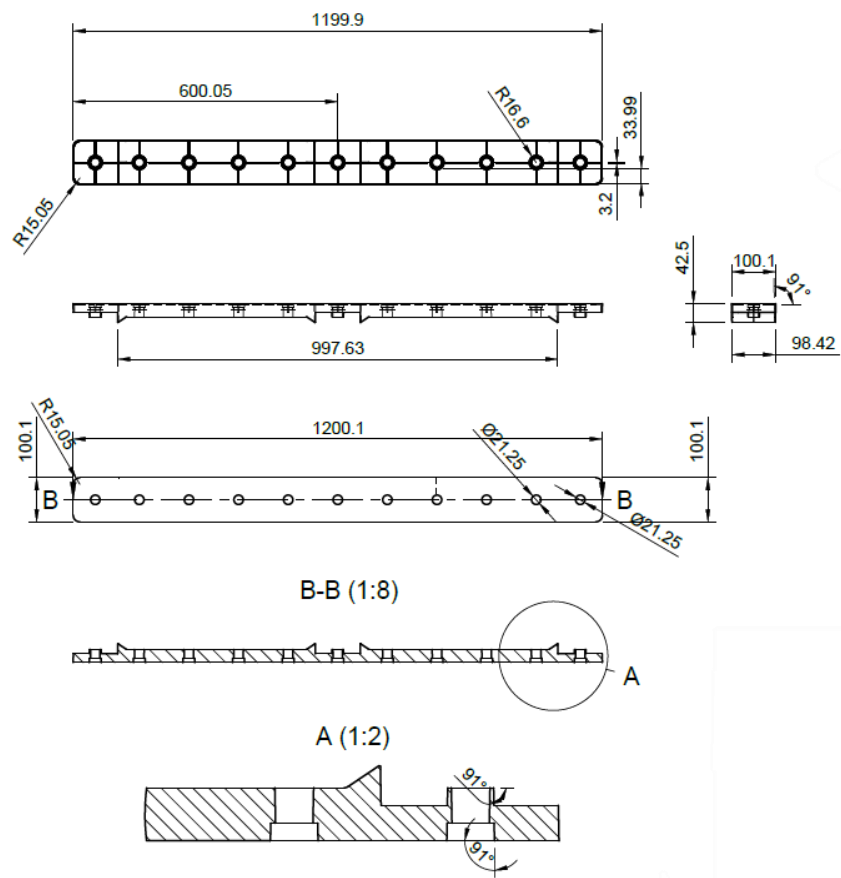


Figura 104: Planos tabla deck y patín.

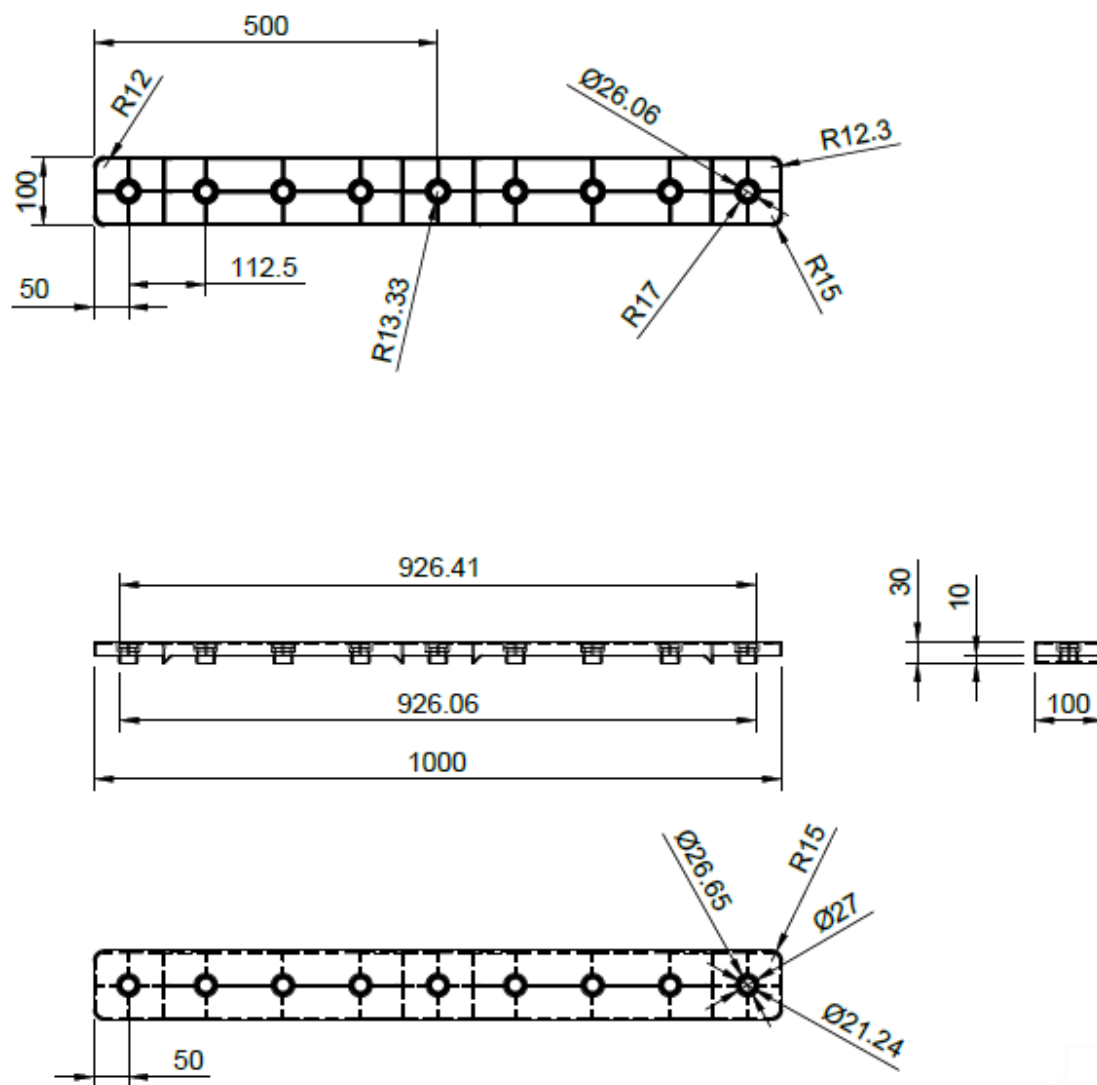


Figura 105: Planos tabla travesaño.

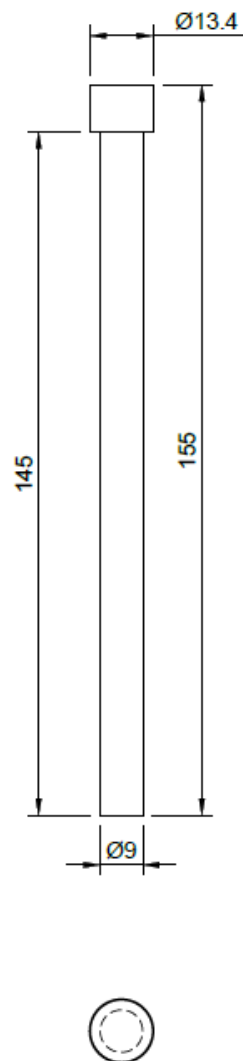


Figura 106: Planos seguro.

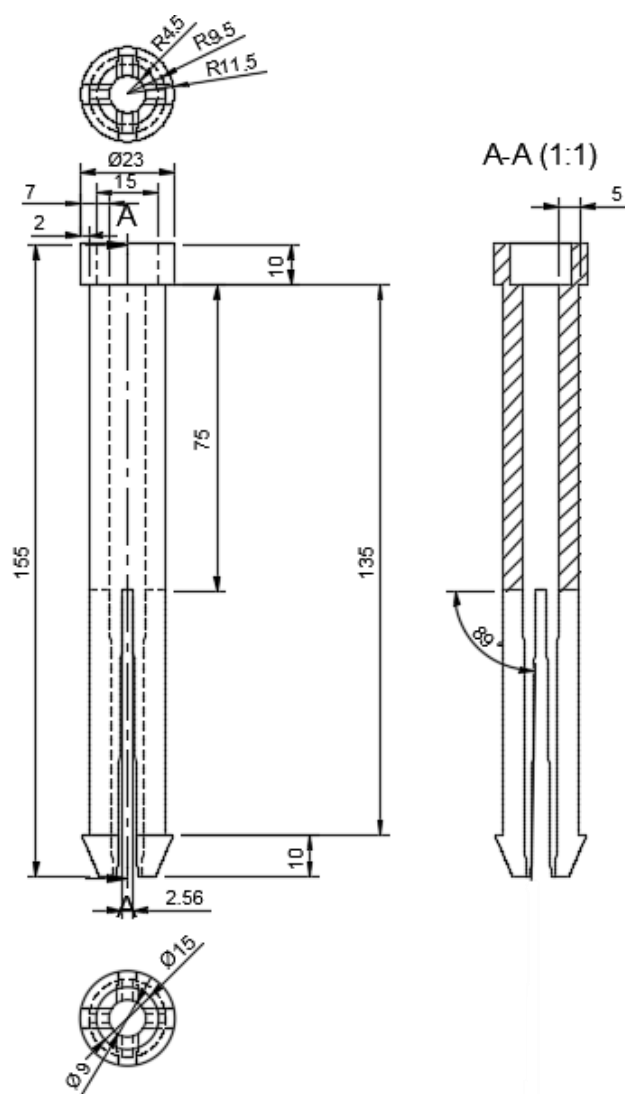
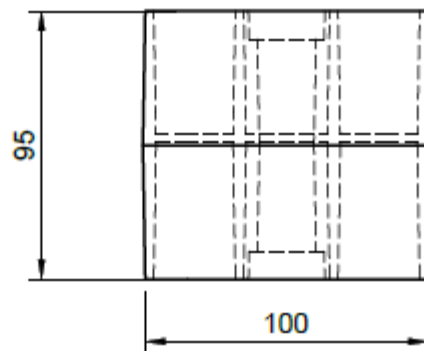


Figura 107: Planos clip.



ANEXOS

Análisis de ciclo de vida de producto

Gráficos de resultados desde la web de Beloop.

Para el pallet de madera los resultados por área de interés son los siguientes:

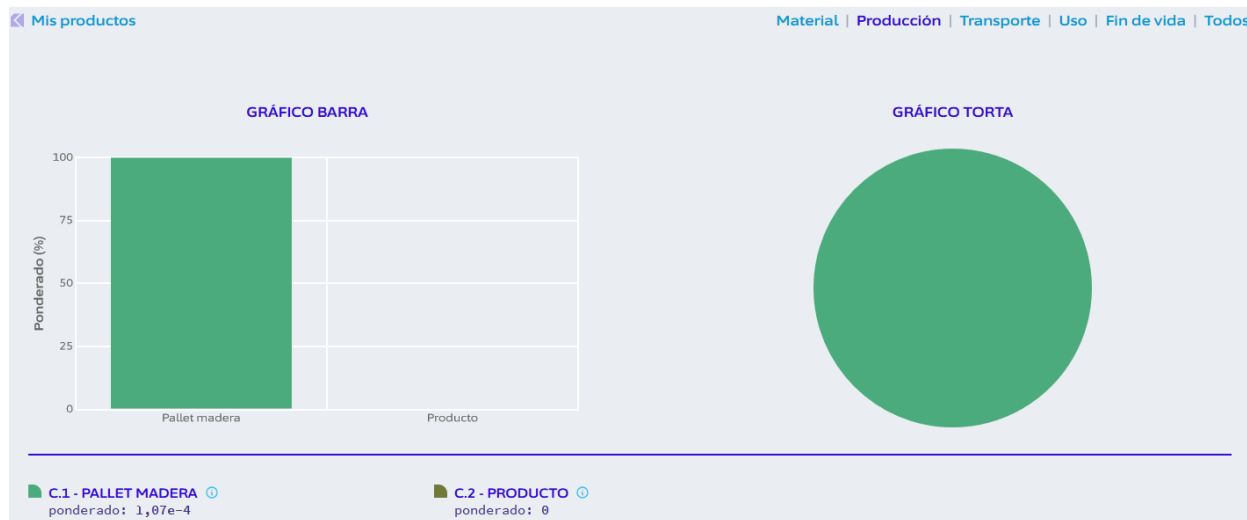


Figura 109: Análisis Beloop, pallet de madera, producción.

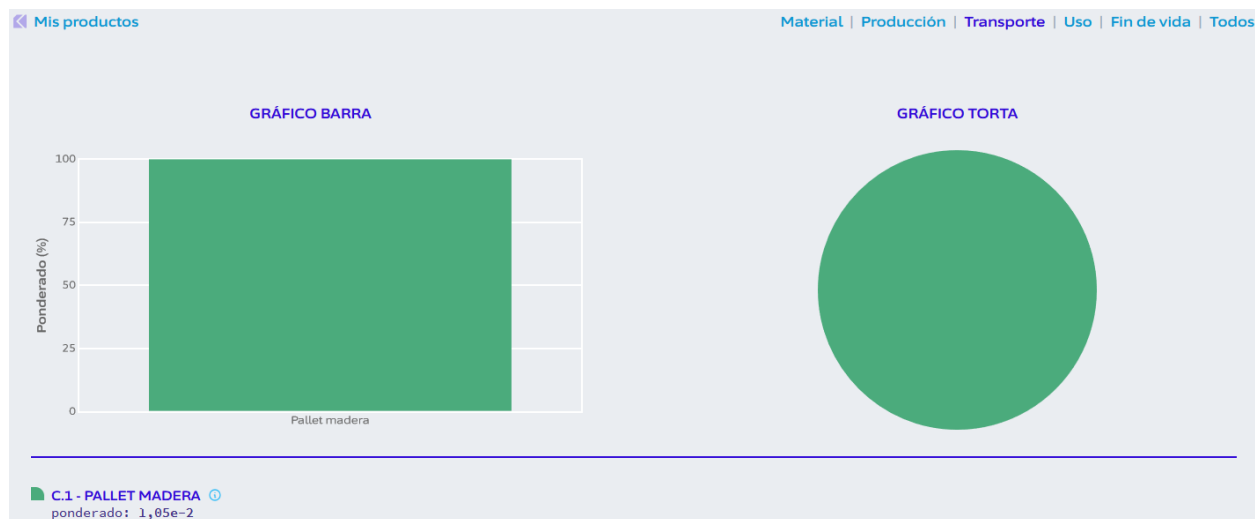


Figura 110: Análisis Beloop, pallet de madera, transporte.

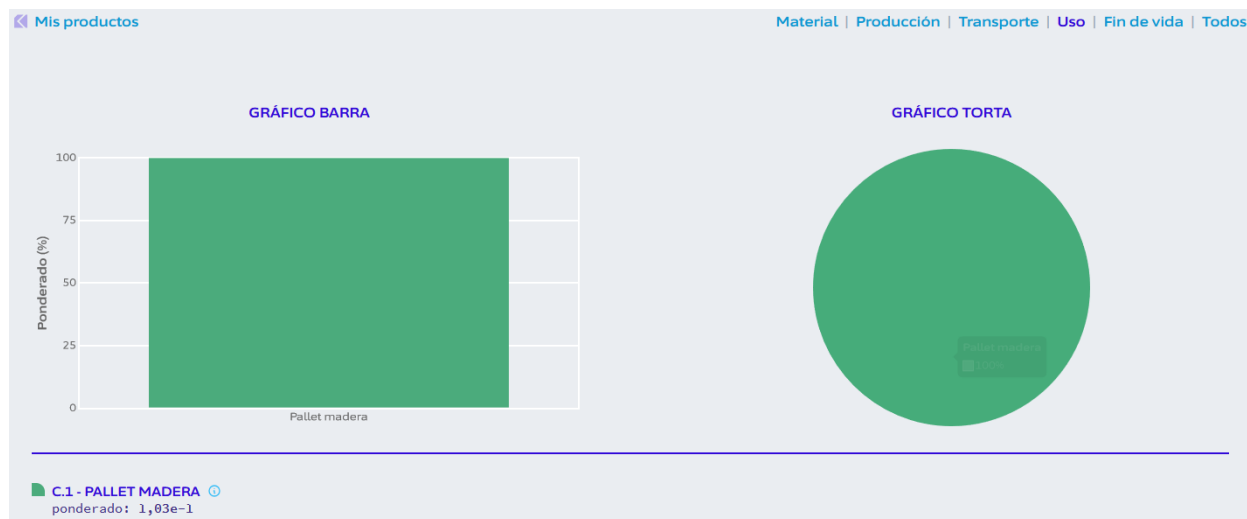


Figura 111: Análisis Beloop, pallet de madera, uso.



Figura 112: Análisis Beloop, pallet de madera, fin de vida.

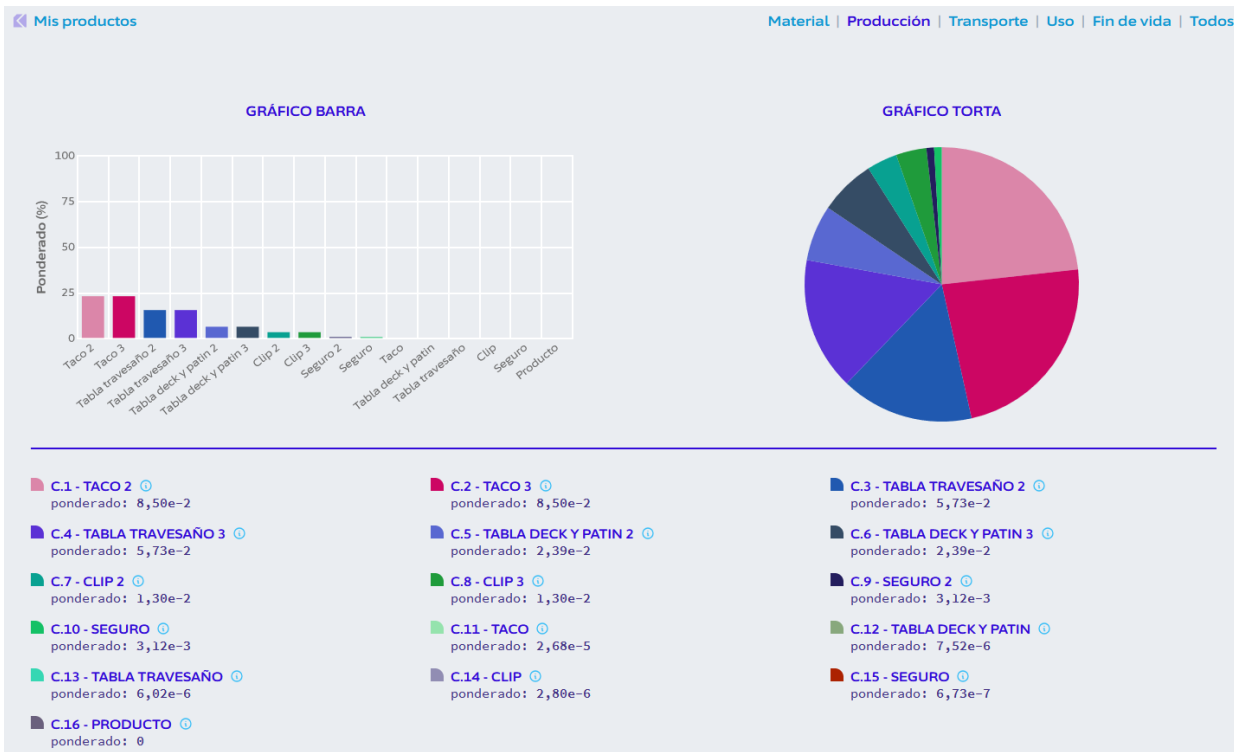


Figura 113: Análisis Beloop, pallet de SCRAP, producción.

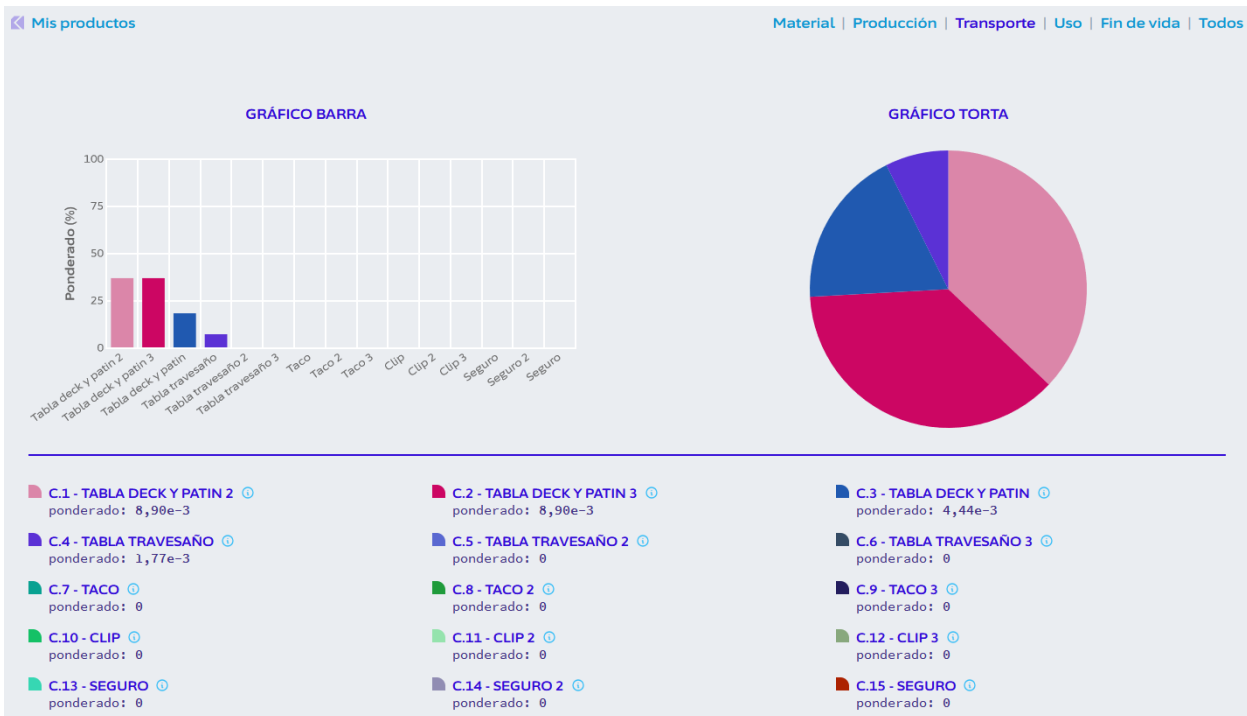


Figura 114: Análisis Beloop, pallet de SCRAP, transporte.

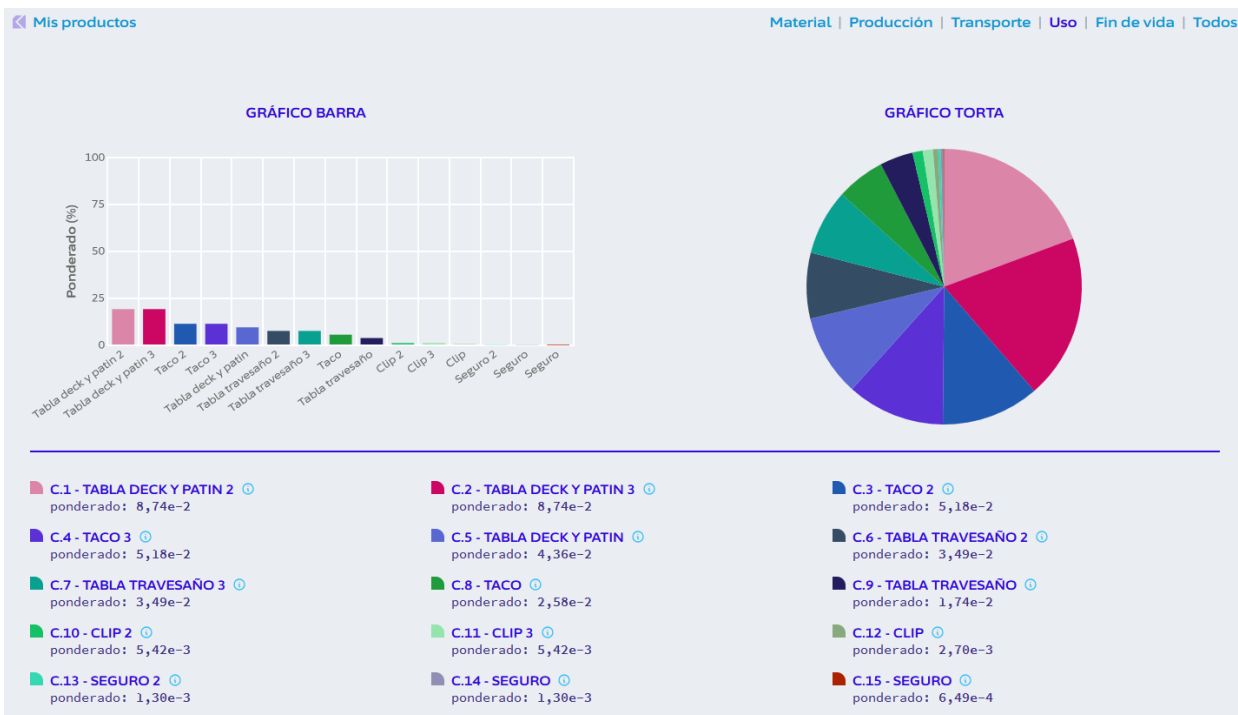


Figura 115: Análisis Beloop, pallet de SCRAP, uso.

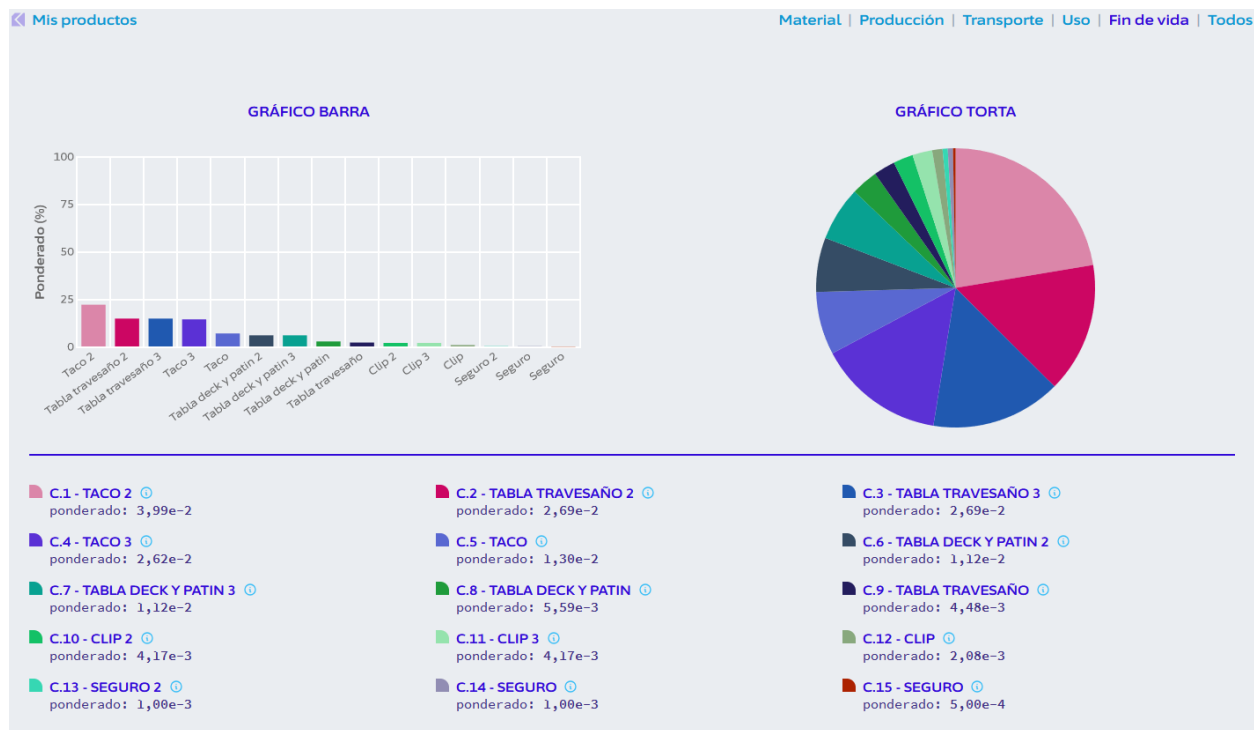


Figura 116: Análisis Beloop, pallet de SCRAP, fin de vida.

REFERENCIAS

- Acaroglu Leyla. (2020, junio 30). *Quick Guide to the Disruptive Design Method* | by Leyla Acaroglu | *Disruptive Design* | Medium. Quick Guide to the Disruptive Design Method.
<https://medium.com/disruptive-design/quick-guide-to-the-disruptive-design-method-25a7b2b56e5f>
- Accorsi, R., Baruffaldi, G., Manzini, R., & Pini, C. (2019). Environmental impacts of reusable transport items: A case study of pallet pooling in a retailer supply chain. *Sustainability (Switzerland)*, 11(11).
<https://doi.org/10.3390/su11113147>
- Ana Botet. (2019). *ESTUDIO DE LOS PLÁSTICOS COMO MATERIAL RECICLADO PARA LA OBTENCIÓN DE MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN.*
- Anand, G., & Kodali, R. (2008). Benchmarking the benchmarking models. *Benchmarking: An International Journal*, 15(3), 257–291.
<https://doi.org/10.1108/14635770810876593>

ASIPLA. (2023). *ESTADÍSTICAS INDUSTRIA DEL PLÁSTICO*. www.asipla.cl

ASPAPEL. (2008). *Guía de gestión de residuos*.

ASTM International. (2020). *Standard Test Method for Melt Flow Rates of Thermoplastics by Extrusion Plastometer*.

Awuchi, C. G., Hannington, T., Awuchi, C. G., Igwe, V. S., & Amagwula, I. O. (2020). Industrial waste management, treatment, and health issues: wastewater, solid, and electronic wastes. *EUROPEAN ACADEMIC RESEARCH*, 8(2), 1081–1119.

Barquín, J., Concostrina-Zubiri, L., Pérez-Silos, I., Hernández-Romero, G., Vélez-Martín, A., & Álvarez-Martínez, J. M. (2022). Monoculture plantations fuel fires amid heat waves. *Science*, 377(6614), 1498–1498. <https://doi.org/10.1126/science.ade5923>

British Design Council. (2005). *The Double Diamond - Design Council*. <https://www.designcouncil.org.uk/our-resources/the-double-diamond/>

Campanale, C., Massarelli, C., Savino, I., Locaputo, V., & Uricchio, V. F. (2020). A detailed review study on potential effects of microplastics and additives of concern on human health. En *International Journal of Environmental Research and Public Health* (Vol. 17, Número 4). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/ijerph17041212>

CEPAL. (s. f.). *Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)*. Recuperado 30 de marzo de 2024, de <https://www.cepal.org/pt-br/topicos/agenda-2030-o-desenvolvimento-sustentavel/objetivos-desarrollo-sostenible-ods>

Chep. (s. f.). *North America Pooled Wood Block Pallet | CHEP*. Recuperado 26 de junio de 2024, de <https://www.chep.com/cl/es-419/products/pallets/pooled-wood->

block-pallet-north-america-48-x-40-
inches

CHEP Chile. (s. f.). *Soluciones en Plataformas | CHEP Chile*. Recuperado 25 de junio de 2024, de <https://www.chep.com/cl/es-419/services-solutions>

Circula El Plástico. (2021). *REPORTABILIDAD DEL PACTO CHILENO DE LOS PLÁSTICOS*.

CMPC. (2023). *REPORTE INTEGRADO CMPC 2023*. <https://www.cmpc.com/pdf/REPORTE-INTEGRADO-CMPC-2023-1.pdf>

Deviatkin, I., Khan, M., Ernst, E., & Horttanainen, M. (2019a). Wooden and plastic pallets: A review of life cycle assessment (LCA) studies. En *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 11, Número 20). MDPI. <https://doi.org/10.3390/su11205750>

Deviatkin, I., Khan, M., Ernst, E., & Horttanainen, M. (2019b). Wooden and plastic pallets: A review of life cycle assessment (LCA) studies. En

Sustainability (Switzerland) (Vol. 11, Número 20). MDPI. <https://doi.org/10.3390/su11205750>

Ellen MacArthur Foundation. (2013). *Towards the circular economy*.

Fagnani, D. E., Jehanno, C., Sardon, H., & McNeil, A. J. (2022). Sustainable Green Polymerizations and End-of-Life Treatment of Polymers. En *Macromolecular Rapid Communications* (Vol. 43, Número 13). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1002/marc.202200446>

GARABIZA, B. R., PRUDENTE, E. A., & QUINDE, K. N. (2021). La aplicación del modelo de economía circular en Ecuador: Estudio de caso. *Espacios*, 42(02), 222–237. <https://doi.org/10.48082/espacios-a21v42n02p17>

George E. (1951). *Pallet*. <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/024652251/publication/US2536587A?q=pn%3DUS2536587A>

- Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7).
<https://doi.org/10.1126/SCIADV.1700782>
- GfK-NIQ Chile. (2023). *Estudio Reciclando-ando*.
- Gil Aaron, Espinosa Melanie, González Aranxa, Chiari María, del Rosario Nicole, Batista Vanesa, & Sierra Mauricio. (2020). *Los envases de plástico y su impacto*. 268–279.
- Gobierno de Chile. (2023). *INFORME NACIONAL VOLUNTARIO CHILE 2023*.
- Gründl, H. 1967-, & Ullrich, R. (2021). *Circular Design rules CDR - version 1.0 product design*.
- Haider, T. P., Völker, C., Kramm, J., Landfester, K., & Wurm, F. R. (2019). Plastics of the Future? The Impact of Biodegradable Polymers on the Environment and on Society. *Angewandte Chemie International Edition*, 58(1), 50–62.
<https://doi.org/10.1002/anie.201805766>
- Hussain Khan, Md. M., Deviatkin, I., Havukainen, J., & Horttanainen, M. (2021). Environmental impacts of wooden, plastic, and wood-polymer composite pallet: a life cycle assessment approach. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 26(8), 1607–1622.
<https://doi.org/10.1007/s11367-021-01953-7>
- Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., & Law, K. L. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223), 768–771.
<https://doi.org/10.1126/SCIENCE.1260352>
- Korley, L. T. J., Epps, T. H., Helms, B. A., & Ryan, A. J. (2021). Toward polymer upcycling-adding value and tackling circularity. *Science*, 373(6550), 66–69.
<https://doi.org/10.1126/science.abg4503>

- Letcher, T. M. (2020). *Plastic Waste and Recycling: Environmental Impact, Societal Issues, Prevention, and Solutions*. Academic Pres.
- Li, H., Aguirre-Villegas, H. A., Allen, R. D., Bai, X., Benson, C. H., Beckham, G. T., Bradshaw, S. L., Brown, J. L., Brown, R. C., Cecon, V. S., Curley, J. B., Curtzwiler, G. W., Dong, S., Gaddameedi, S., García, J. E., Hermans, I., Kim, M. S., Ma, J., Mark, L. O., ... Huber, G. W. (2022). Expanding plastics recycling technologies: chemical aspects, technology status and challenges. En *Green Chemistry* (Vol. 24, Número 23, pp. 8899–9002). Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/d2gc02588d>
- Lisiecki, M., Belé, T. G. A., Ügdüler, S., Fiorio, R., Astrup, T. F., De Meester, S., & Ragaert, K. (2024). Mechanical recycling of printed flexible plastic packaging: The role of binders and pigments. *Journal of Hazardous Materials*, 472, 134375. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.134375>
- Mangold, H., & von Vacano, B. (2022). The Frontier of Plastics Recycling: Rethinking Waste as a Resource for High-Value Applications. *Macromolecular Chemistry and Physics*, 223(13). <https://doi.org/10.1002/macp.202100488>
- Mcaloone, T. C., & Bey, N. (2009). *Environmental improvement through product development: A guide* (Vol. 30). <http://www.kp.mek.dtu.dk/English/Research/areas/ecodesign/guide.aspx>
- Ministerio del Medio Ambiente. (2023). *Reporte del Estado del Medio Ambiente 2023* – SINIA. https://sinia.mma.gob.cl/estado-del-medio-ambiente/reporte-del-estado-del-medio-ambiente-2023/#objetivo_datosAbiertos
- MMA. (s. f.). *Ley Rep – Economía Circular*. Recuperado 4 de junio de 2024, de <https://economiecircular.mma.gob.cl/ley-rep/>
- Objetivos de Desarrollo Sostenible*. (2015, septiembre 25).

<https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals>

ONU. (2021). *El plástico, que ya ha atragantado nuestros océanos, terminará por asfixiarnos a todos si no actuamos rápidamente* | Noticias ONU. <https://news.un.org/es/story/2021/10/1498752>

Paes, M. X., Puppim de Oliveira, J. A., Mancini, S. D., & Rieradevall, J. (2024). Waste management intervention to boost circular economy and mitigate climate change in cities of developing countries: The case of Brazil. *Habitat International*, 143. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2023.102990>

Pandey, P., Dhiman, M., Kansal, A., & Subudhi, S. P. (2023). Plastic waste management for sustainable environment: techniques and approaches. En *Waste Disposal and Sustainable Energy* (Vol. 5, Número 2, pp. 205–222). Springer. <https://doi.org/10.1007/s42768-023-00134-6>

Patricio, J., Kalmykova, Y., & Rosado, L. (2020). A method and databases for estimating detailed industrial waste generation at different scales – With application to biogas industry development. *Journal of Cleaner Production*, 246, 118959. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118959>

Pereira, B. G., Pereira, A. J., & Corneli, V. M. (2023). REVERSE LOGISTICS: A CASE STUDY IN RELATION TO POST-CONSUMER RECYCLED PET BOTTLES (RPET) OF MINERAL WATER. *REVISTA FOCO*, 16(5), e2034. <https://doi.org/10.54751/revistafoco.v16n5-140>

Pérez. (2024).  ¿Cómo conseguir la Sustentabilidad Operativa? Más que un término, un compromiso con el futuro  | LinkedIn. <https://www.linkedin.com/pulse/c%C3%B3mo-conseguir-la-sustentabilidad-operativa-m%C3%A1s-que-un-irving-p%C3%A9rez-xiwge/>

- ReSimple. (s. f.). *Reciclar es ReSimple*. Recuperado 5 de junio de 2024, de <https://reciclares.resimple.cl/>
- Sanchis Gisbert, R. (2022). *Herramientas de ecodiseño: La Rueda de LIDS (life cycle design strategy wheel)*. <https://riunet.upv.es:443/handle/10251/183307>
- Smith F. H. (1924). *Platform*. <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/023290908/publication/US1508898A?q=pn%3DUS1508898A>
- Smith, M., Love, D. C., Rochman, C. M., & Neff, R. A. (2018). Microplastics in Seafood and the Implications for Human Health. En *Current environmental health reports* (Vol. 5, Número 3, pp. 375–386). Springer. <https://doi.org/10.1007/s40572-018-0206-z>
- Solaymani, S. (2019). CO2 emissions patterns in 7 top carbon emitter economies: The case of transport sector. *Energy*, 168, 989–1001. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.11.145>
- Sondh, S., Upadhyay, D. S., Patel, S., & Patel, R. N. (2024). Strategic approach towards sustainability by promoting circular economy-based municipal solid waste management system- A review. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 37. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2023.101337>
- TIANJIN. (2020). *Engine oil bottle crushing, cleaning and recycling system*.
- Triciclos. (s. f.). *Material Didáctico*. Recuperado 21 de mayo de 2024, de <https://triciclos.net/materialdidactico/#1606411289907-7c005e1b-d4b6>
- Villarrubia-Gómez, P., Cornell, S. E., & Fabres, J. (2018). Marine plastic pollution as a planetary boundary threat – The drifting piece in the sustainability puzzle. *Marine Policy*, 96, 213–220. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2017.11.035>
- World Commission on Environment and Development. (1987). *Our common future*. <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>

Xiaoren QIAN. (2024). *Steel_pipe_embedded Structure for packaging and trasnportation box of reel* (Patent US 2024/0101308 A1). <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/090360839/publication/US2024101308A1?q=pn%3DUS2024101308A1>

Zhang, T., Wen, Z., Fei, F., Kosajan, V., Tan, Y., Xu, M., & Ekins, P. (2023). Green transformation strategy of pallet logistics in China based on the life cycle analysis. *Science of The Total Environment*, 903, 166436. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166436>

Zúñiga D, M., Aranda, F. L., & Rivas, B. L. (2023). POLYMERS RECYCLING: UPCYCLING TECHNIQUES. AN OVERVIEW. *Journal of the Chilean Chemical Society*, 68(2), 5876–5886. <https://doi.org/10.4067/s0717-97072023000205876>