



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA



EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA RESPECTO DE TECNOLOGÍAS DE SEPARACIÓN
DE RESIDUOS CON FOCO EN LA IMPLEMENTACIÓN DE LA LEY REP

POR

Arturo Horacio Parada Briones

Memoria de Título presentada a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Concepción para
optar al título profesional de Ingeniero Civil Químico

Profesores Guía

Fernando Márquez

Juan Carlos Carrasco

Profesional Supervisor

Carla Pérez

Enero 2025

Concepción (Chile)

© 2025 Arturo Horacio Parada Briones

Ninguna parte de esta tesis puede reproducirse o transmitirse bajo ninguna forma o por ningún medio o procedimiento, sin permiso por escrito del autor.

Resumen

Se estima que en Chile se generan 1,03 kg de residuos por habitantes al día. En consideración de esta situación, que lleva años en incremento, es que el año 2016 se promulga y publica la ley 20.920 o Ley REP, estableciendo como productos prioritarios a los neumáticos, envases y embalajes, aceites lubricantes, equipos eléctricos y electrónicos, pilas y baterías, y metas de gestión para ellos. Esto presenta una oportunidad de nuevos negocios y empleos, por lo que, en base a esto, se hace este trabajo con el objetivo de analizar la factibilidad técnico-económica de una planta de separación de residuos prioritarios, para la región del Biobío. Específicamente, se estudia el estado del arte de la generación de los materiales en la zona, y las tecnologías aplicables para separarlos, con lo cual se proponen diseños de plantas de separación, para finalmente examinar factibilidad técnico-económica de estas.

Para lograr estos objetivos, se realiza una búsqueda bibliográfica para obtener datos de generación de residuos, los cuales son ajustados a la región del Biobío. Se analizan informes, videos y páginas de plantas de separación y empresas fabricantes para identificar tecnologías avanzadas aplicadas. Además, se realizan entrevistas sobre recolección y reciclaje en la región, para lograr una mayor comprensión de la situación actual. Se desarrollan distintos diseños de planta y se calculan costos, ingresos, flujos de caja, los indicadores valor actual neto (VAN) y tasa interna de retorno (TIR), para finalmente realizar un análisis de sensibilidad respecto a cuatro variables clave.

Finalmente se decide trabajar con residuos de Envases y Embalajes, en consideración de los decretos publicados, la existencia de tecnologías y la calidad de los datos de generación de residuos. Para este grupo, se estima una cantidad total de Material No Valorizado en la región del Biobío de 95.782 toneladas anuales. En base a ello, se desarrolla un caso corto plazo con un flujo anual de 9.084 toneladas y casos a largo plazo con flujos de hasta 103.488 toneladas anuales. Finalmente, todos los diseños resultan factibles. con un TIR de 21% y VAN de 876 miles de USD para un caso corto plazo pesimista, ascendiendo hasta un 67% y 20,6 millones para el resto, siendo proporcional a la escala de la planta. Además, se consideraron procesos completos ofrecidos por fabricantes, los cuales también fueron factibles, con alta variación en los indicadores. Por último, se reconoce que las variables de mayor influencia en los resultados son el precio de venta y el costo de los equipos.

De esta forma se concluye que la planta es factible para diseños simples, pero necesita de la recolección Domiciliaria clasificada para poder operar, siendo este el mayor desafío, junto al financiamiento y la claridad de las cantidades generadas. Además, es necesario estudiar en profundidad el material, tomando muestras y especificando la composición.

Abstract

It is estimated that 1,03 kg of waste per inhabitant are generated daily in Chile. Considering this situation, which has been increasing for years, Law 20.920 or the REP Law (Extended Producer Responsibility in Spanish) was enacted and published in 2016. This law identifies priority products, including Tires, Packaging and Containers, Lubricating Oils, Electrical and Electronic Equipment, and Batteries, and sets management targets for their management, which presents an opportunity for new businesses. Based on this, this work aims to analyze the technical and economic feasibility of a priority waste separation plant for the Biobío region. Specifically, it studies the state of the art in material generation in the area and the applicable technologies for separation, proposing plant designs and ultimately examining their technical and economic feasibility.

To achieve these objectives, a literature review was conducted to gather waste generation data, which was adjusted to the Biobío region. Reports, videos, and websites of separation plants and equipment manufacturers were analyzed to identify advanced applied technologies. Additionally, interviews were conducted regarding collection and recycling in the region to gain a deeper understanding of the current situation. Various plant designs were developed, and costs, revenues, cash flows, NPV (Net Present Value), and IRR (Internal Rate of Return) indicators were calculated, followed by a sensitivity analysis for four key variables.

Finally, it was decided to focus on Packaging and Containers waste, considering the published decrees, the availability of technologies, and the quality of waste generation data. For this group, an estimated total of 95.782 tons of non-recoverable material is generated annually in the Biobío region. Based on this, a short-term case was developed with an annual flow of 9.084 tons, and long-term cases with flows of up to 103.488 tons annually. All designs were found to be feasible, with an IRR of 21% and an NPV of 876 thousand USD for a pessimistic short-term case, increasing to 67% and 20,6 million USD for other cases, proportional to plant scale. Additionally, complete processes offered by manufacturers were considered and were also feasible, although with high variability in the indicators. Lastly, it was identified that the most influential variables on the results are the selling price and equipment costs.

In conclusion, the plant is feasible for simple designs but requires classified household collection to operate, which is the main challenge, along with financing and clarity on the amounts generated. Furthermore, it is necessary to study the material in depth, taking samples and specifying its composition.

Tabla de Contenidos

Resumen	1
Abstract	2
Tabla de Contenidos	3
Lista de Tablas	6
Lista de Figuras	9
1. Introducción	11
1.1 Marco Teórico	12
Ley REP	12
Plantas de separación	13
Situación actual de sistemas de gestión en la región del Biobío	14
2. Objetivos	15
3. Materiales y Métodos	16
3.1 Metodología General	16
3.2 Metodología específica	18
Actividad 1.3: Búsqueda bibliográfica sobre la generación de residuos en Chile y en la región, incluyendo informes, base de datos de RETC y artículos	18
Actividad 1.4: Cálculo de estimaciones de generación de residuos para la región del Biobío ...	19
Actividad 1.5: Definición del material y las cantidades con que trabajar, en base a la información estudiada y basándose en el material sin gestionar.	21
Actividad 4.2: Estimación de distintos costos asociados a la planta	22
Actividad 4.4: Construcción de flujos de caja y cálculo del VAN y TIR	23
Actividad 4.5: Cálculos de sensibilidad para los distintos diseños de plantas	25
4. Resultados y Discusión	26
4.1 Objetivo 1: Estado del arte respecto a la generación de residuos bajo la Ley REP en la Región del Biobío y cantidades a trabajar	26

Neumáticos	26
Envases y Embalajes	26
Aceites Lubricantes	29
Aparatos Eléctricos y Electrónicos	29
Baterías	29
Pilas	30
Cantidad de material a utilizar y casos a trabajar	30
4.2 Objetivo 2: Estado del arte respecto a las tecnologías de separación de residuos a los cuales aplica actualmente la Ley REP.....	33
Tecnologías aplicables a Envases y Embalajes	33
Otras tecnologías aplicables al resto de los residuos prioritarios	36
4.3 Objetivo 3: Propuestas de diseño de planta de separación de residuos prioritarios REP para el Gran Concepción.....	37
Límites de batería, suposiciones y consideraciones	37
Diseños de planta propios	38
Diseños propuestos por fabricantes	41
4.4 Objetivo 4: Evaluación técnico-económica.....	42
Costos de inversión	42
Precios de venta de los productos.....	42
Suposiciones.....	43
Flujos de caja.....	44
Sensibilidades.....	45
5. Conclusiones	46
Recomendaciones.....	47
6. Referencias	48
7. Anexo	51

7.1	Anexo A	51
	Actores definidos por la Ley REP.....	51
	Jerarquía en el manejo de residuos.....	52
	Metas	53
	Sistemas de gestión de neumáticos en la región	56
	Metas de campaña de Recolección Domiciliaria de ReSimple.....	58
7.2	Anexo B.....	59
	Factores de instalación	59
7.3	Anexo C.....	60
	Cantidades de residuos generados a nivel nacional	60
	Material Disponible País, Material Gestionado País y Material No Valorizado País.....	62
7.4	Anexo D	63
	Imágenes y diagramas de referencia de tecnologías de separación de envases y embalajes	63
	Descripción de tecnologías aplicables a otros residuos prioritarios.....	69
7.5	Anexo E.....	71
	Diagramas de flujo para 5,7 ton/h y 12,3 ton/h.....	71
	Diseños de planta ofrecidos por fabricantes.....	73
7.6	Anexo F	77
	Costos de equipos.....	77
	Precios de venta.....	79
	Consumos energéticos.....	81
	Salarios	85
	Ubicación de la planta	87
	Flujos de Caja.....	89
	Resumen FI	92

Lista de Tablas

Tabla 3.1 Poblaciones en las regiones de la zona Centro-Sur en los últimos tres años.	20
Tabla 4.1 Resumen de estimaciones de NFU generados el año 2022 en la región del Biobío.	26
Tabla 4.2 Cantidades de RSDyA producidos por tipo, en base a información de Subdere (2022).	26
Tabla 4.3 Estimaciones de generación de EyE en la región del Biobío en base a información de (RETC, 2023).....	27
Tabla 4.4 Cantidades estimadas para la región del Biobío de EyE plásticos por tipo, (ANIR, 2023).	27
Tabla 4.5 Cantidades estimadas para la región del Biobío de EyE de metal por tipo, (ANIR, 2023).	28
Tabla 4.6 Cantidades estimadas para la región del Biobío de de EyE de cartón y papel, vidrio y cartón para bebidas (ANIR, 2023).	28
Tabla 4.7 Resumen de estimaciones de Aceites Lubricantes residuales generados en la región del Biobío el 2022.	29
Tabla 4.8 Resumen de estimaciones de NFU generados el año 2022 en la región del Biobío.	30
Tabla 4.9 Material No Valorizado Biobío, en toneladas al año.	31
Tabla 4.10 Cantidades de material para caso corto plazo.	31
Tabla 4.11 Flujos para los tres diseños de largo plazo.	32
Tabla 4.12 Costos de compra e inversión para las distintas plantas.	42
Tabla 4.13 Precios promedio de venta.	43
Tabla 4.14 Resultados de los Flujos de Caja para los distintos casos y diseños.	44
Tabla 4.15 Sensibilidades relativas del TIR (absoluta para selectores manuales)..	45
Tabla 4.16 Sensibilidades relativas del VAN (absoluta para selectores manuales).	45
Tabla 7.1 Metas de neumáticos a recolectar bajo la Ley REP.	53
Tabla 7.2 Metas de neumáticos a valorizar bajo la Ley REP.	53
Tabla 7.3 Metas de recolección y valorización de residuos domiciliarios bajo la Ley REP.....	53
Tabla 7.4 Metas de recolección y valorización de residuos domiciliarios bajo la Ley REP.....	54

Tabla 7.5 Metas de recolección y valorización de aceites lubricantes recuperables bajo la Ley REP.	54
Tabla 7.6 Metas de recolección y valorización de pilas y aparatos eléctricos y electrónicos bajo la Ley REP.....	54
Tabla 7.7 Metas de recolección por porcentaje de las viviendas del país.	55
Tabla 7.8 Proyecciones de obertura de viviendas con recolección selectiva a nivel país. ReSimple.	58
Tabla 7.9 Factores de Instalación Propuestos por Hand (1958) (Towler, 2008).....	59
Tabla 7.10 Cantidades de NFU generados (RECT, 2023).	60
Tabla 7.11 Cantidades de residuos de EyE generados (RECT, 2023).	60
Tabla 7.12 Cantidades de residuos de Aceites Lubricantes generados (RECT, 2023).	60
Tabla 7.13 Cantidades de BFU generados (RECT, 2023).	61
Tabla 7.14 Cantidades de residuos de Pilas generados, por tipo (RECT, 2023).....	61
Tabla 7.15 MDP, MGP y MNVP (ANIR, 2023)	62
Tabla 7.16 Costos de equipos para planta caso corto plazo.	77
Tabla 7.17 Costos de equipos para planta caso largo plazo.	78
Tabla 7.18 Precios de venta de materiales producidos.....	79
Tabla 7.19 Consumo eléctrico de equipos de la planta caso corto plazo.	81
Tabla 7.20 Consumo energético de equipos para plantas largo plazo.....	82
Tabla 7.21 Consumo eléctrico de equipos para la planta de Zhengzhou Yuxi.	83
Tabla 7.22 Consumo eléctrico de equipos para la planta de Baoding Baonan.	83
Tabla 7.23 Consumo eléctrico de equipos para la planta de Henan Hongzhi.	84
Tabla 7.24 Puestos de trabajo, cantidad de empleados y salarios de cada planta de diseño propio....	85
Tabla 7.25 Puestos de trabajo, cantidad de empleados y salarios de cada planta ofrecida por fabricantes (menos AMP Sortation).	86
Tabla 7.26 Porcentajes de generación de RSDyA en la región del Biobío (Subdere, 2022).	87
Tabla 7.27 Comunas a menos de 50 km de ubicaciones potenciales para la planta y porcentaje de generación de RSDyA correspondiente.	88
Tabla 7.28 Flujo de caja para caso corto plazo pesimista.	89

Tabla 7.29 Flujo de caja para caso corto plazo optimista.	89
Tabla 7.30 Flujo de caja para caso largo plazo A.	89
Tabla 7.31 Flujo de caja para caso largo plazo B.....	90
Tabla 7.32 Flujo de caja para caso largo plazo C.....	90
Tabla 7.33 Flujo de caja para planta de Zhengzhou Yuxi Machinery Equipment.	90
Tabla 7.34 Flujo de caja para planta de Baoding Baonan Machinery And Equipment.	91
Tabla 7.35 Flujo de caja para planta de Henan Hongzhi Machinery Manufacturing	91
Tabla 7.36 Flujo de caja para planta de AMP Sortation.	91

Lista de Figuras

Figura 3.1 Comercialización de neumáticos por zona (GIZ, 2010).	20
Figura 3.2 Composición porcentual de Residuos Sólidos Domiciliario y Asimilables en la Región del Biobío (Subdere, 2019).	21
Figura 4.1 Diseño para planta a corto plazo, 757 ton/mes.	39
Figura 4.2 Diseño de Planta para Largo Plazo, 25 ton/h.	40
Figura 7.1 Esquema del proceso de pirólisis de neumáticos (Grupo Arrigoni, 2020).	56
Figura 7.2 Trómel de Criba de marca Stadler.	63
Figura 7.3 Separador Balístico de marca Stadler.	63
Figura 7.4 Diagrama del funcionamiento de un separador de aire.	63
Figura 7.5 Estanque de flotación de Rotajet Recycling.	64
Figura 7.6 A. Separador magnético de tambor. B. Separador magnético de banda. (Steinert).	64
Figura 7.7 Separador Eddy Current o de Foucault (Goudsmit).	64
Figura 7.8 Hidrapulping (Tetra Pak).	65
Figura 7.9 Diagrama de extrusora típica (Interempresas).	65
Figura 7.10 Diagrama del Separador Óptico AUTOSORT (TOMRA).	65
Figura 7.11 A. INNOSORT FLAKE. B. AUTOSORT SPEEDAIR (TOMRA).	66
Figura 7.12 Separador Robótico RoBB (Bollegraaf).	66
Figura 7.13 Embaladora horizontal (Bollegraaf HBC).	66
Figura 7.14 Granulador (Rapid).	67
Figura 7.15 Desetiquetadora (Stadler).	67
Figura 7.16 Molino (Vecoplan).	67
Figura 7.17 Alimentador (Bollegraaf).	68
Figura 7.18 Diagrama de planta largo plazo de diseño propio, 12,3 ton/h.	71
Figura 7.19 Diagrama de planta largo plazo de diseño propio, 5,7 ton/h.	72
Figura 7.20 Planta propuesta por Zhengzhou Yuxi Machinery Equipment, 12,3 ton/h.	73
Figura 7.21 Planta propuesta por Baoding Baonan Machinery And Equipment Manufacturing, 12,3	

ton/h.....	74
Figura 7.22 Planta propuesta por Henan Hongzhi Machinery Manufacturing, 12,5 ton/h.	75
Figura 7.23 Plano de planta genérico, AMP.	76

1. Introducción

Es ampliamente reconocido que el cuidado del medio ambiente y las actividades humanas que lo perjudican son temas de gran importancia en el mundo actual. Una de las principales aristas de esto, es la basura y los residuos generados por la humanidad. Esta actividad ha ido en aumento constante desde la revolución industrial, llegando a la actualidad, en la que cada año se recolecta en el mundo una cantidad estimada de 11.200 millones de toneladas de residuos sólidos (ONU, 2024). Y si bien, la gestión de los desechos no es algo contemporáneo, apareciendo en el periodo neolítico, en torno al 5.000 a.C. (Phillips, 2021), ha sido en las últimas décadas que se ha elevado como un desafío de cada vez mayor importancia.

En Chile el caso no es distinto. Si bien presenta una pequeña fracción de la población mundial y de las industrias a nivel global, la generación de residuos sigue siendo un problema de alta magnitud. Para el año 2020, año de pandemia y confinamiento por COVID-19, fueron generados 18 millones de toneladas de residuos (Vivanco, 2023). Considerando que la población de Chile es de aproximadamente 19,6 millones (Banco Mundial, 2024), esto significa cerca de una tonelada por cada habitante. Este escenario evidencia la necesidad de políticas que aborden este problema. Por esto es que el año 2016 se promulga y publica la Ley 20.920 o Ley REP (Responsabilidad Extendida del Productor), que, en pocas palabras, dicta que “El que contamina paga” (MMA, 2020). Esto quiere decir, que los productores de productos prioritarios, definidos en la Ley, deben hacerse cargo, ya sea económica o efectivamente, de la gestión de los residuos originados por su consumo.

El conocimiento de la realidad local y los desafíos de la implementación de la Ley REP son claves para proponer soluciones, las cuales podrían resultar en la generación de oportunidades de negocios que, por ejemplo, podrían reducir niveles de desempleo y avanzar hacia la sostenibilidad ambiental de la región (Pérez, 2024). Con esto en consideración, es que se realizó este trabajo con el objetivo de desarrollar un estudio de factibilidad técnico-económica para una planta de separación de residuos en la región del Biobío, facilitando así la instauración de ley 20.920 y ayudando a valorizar una mayor cantidad de residuos prioritarios en la zona.

En este informe se estiman las cantidades de residuos de grupos prioritarios generados en la región del Biobío según distintos métodos y se discute la fiabilidad de ellos. Además, se describen las tecnologías del estado del arte respecto a la separación de dichos materiales, junto a proposiciones de plantas empleando estos procesos. Finalmente, se analiza la factibilidad técnico-económica de estos diseños y se dan recomendaciones a futuro respecto a los resultados.

1.1 Marco Teórico

Ley REP

La ley 20.920 o Ley REP, llamada así por el mecanismo que emplea como su principal instrumento, la Responsabilidad Extendida del Productor, bajo el cual los productores de productos se responsabilizan del financiamiento y organización de la gestión de los residuos derivados de ellos, los cuales son subclasificados como Domiciliarios y No Domiciliarios. Para esto, se deben cumplir con metas de recolección y valorización, especificadas en Decretos Supremos.

La Ley REP establece distintos actores, entre los cuales se encuentran los mencionados productores y los sistemas de gestión, instituciones sin fines de lucro que se encargan de cumplir con las metas. Se dividen en individuales y colectivos, siendo estos últimos representados en gran parte por los Grupos Reconocidos de Agentes para la Gestión de Sistemas de Instrumento Colectivo (GRANSIC). Además, se encuentran los gestores de residuos, los consumidores, entre otros. Los actores se encuentran profundizados en el anexo A.1

Por otro lado, la Ley 20.920 establece una jerarquía en el manejo de residuos, en el siguiente orden: prevención; reutilización; reciclaje; valorización energética y eliminación. Mayor detalle en el anexo A.2.

Residuos Prioritarios

Actualmente, la Ley REP estipula cinco grupos de residuos prioritarios, a los cuales se les pueden sumar otros mediante Decretos Supremos. En el anexo A.3 se encuentran las metas de recolección y valorización correspondientes, para los casos en que ya hayan sido publicadas.

Neumáticos: Regulado por el Decreto Supremo N° 8, publicado el año 2019. Corresponden a la pieza toroidal, hecha de caucho natural o sintético, que suele montarse sobre la llanta de una rueda, pudiendo tener o no una cámara de aire. son uno de los residuos más comunes en el país, siendo principalmente importado. Son referidos como Neumático Fuera de Uso (NFU) al tratarse de unidades desechadas. De este producto se puede extraer caucho, acero y textil, además de ser valorizados energéticamente y transformados en otros productos.

Envases y Embalajes: Abreviados como EyE, son regulados por el Decreto Supremo N° 12, publicado el año 2021, que los define como productos de cualquier material que sean usados para contener, proteger, manipular, facilitar el consumo, almacenar, conservar, transportar, o mejorar la presentación de las mercancías, incluyendo etiquetas u otros elementos adheridos a ellos. Para efectos de la Ley

REP, son subcategorizados como: cartón para líquidos (comúnmente conocidos como Tetra Pak), metal, papel y cartón, plástico y vidrio. Para este residuo, la única valorización aceptada es el reciclaje.

Aceites Lubricantes: Regulados por el Decreto Supremo N° 47, publicado en diciembre de 2024. Corresponden a aceites minerales o sintéticos utilizados para lubricar motores, cajas de cambio u otros dispositivos mecánicos. Se pueden purificar para ser reutilizados o utilizar como combustible.

Aparatos Electrónicos y Eléctricos: Abreviados como AEE y los residuos correspondientes como RAEE. No cuentan con decreto publicado, pero sí con metas mediante la Resolución Exenta N° 207. Corresponden a todo los aparatos y componentes que requieran de corriente eléctrica o campos electromagnéticos para funcionar. De ellos se pueden extraer metales, plásticos, fibra de vidrio, silicio, goma y tarjetas de circuitos impresos que pueden reutilizarse.

Baterías: No cuentan con Decreto Supremo ni metas definidas, encontrándose en la etapa de formulación del anteproyecto. Corresponden a dispositivos con dos o más celdas electroquímicas, que mediante conectores externos entregan energía eléctrica. El residuo correspondiente generado se cataloga como Batería Fuera de Uso (BFU). De ellas se pueden obtener metales, grafito y ácido sulfúrico, además de poder ser reacondicionadas en algunos casos.

Pilas: Para la Ley REP, las pilas se agrupan junto a los AEE al considerar las metas de recolección y valorización. Corresponden a dispositivos transforman energía química, originada por una reacción de oxidación-reducción, a energía eléctrica. De ellas se pueden extraer metales, ácidos y plásticos.

Plantas de separación

Dentro de la cadena de valorización se consideran las siguientes etapas: recuperación del residuo, transferencia (o transporte), plantas de clasificación y el valorizador o reciclador final. El enfoque de este trabajo es en una instalación como la de la penúltima fase, en las cuales se reciben materiales en grandes cantidades, para luego ser separados entre los distintos tipos, según su material. De esta forma, se pueden valorizar residuos a los que sería difícil acceder sin esta proceso, ya que, generalmente se requiere un cierto grado de pureza para poder aplicar los procesos y tratamientos correspondientes.

En países desarrollados se han construido plantas de este tipo con distintos enfoques. Los más comunes tratan lo conocido como residuos sólidos municipales (MSW por sus siglas en inglés), referente a la basura común domiciliaria, incluyendo todo tipo de material, y Single Stream Waste (SSW), enfocado en residuos reciclables mezclados, sin incluir fase orgánica u otros elementos.

Situación actual de sistemas de gestión en la región del Biobío

Los sistemas de gestión presentes actualmente en la región del Biobío son, principalmente, de envases y embalajes y de neumáticos. En cuanto a baterías, aceites y lubricantes, pilas y RAEE, no hay mucho más que centros de acopio, en los que se juntan los residuos para enviarlos a otras zonas del país, principalmente Santiago.

Neumáticos

En Chile hay dos GRANSICs enfocados en neumáticos, Neuvol y Valora+ (Valoramás). Según este último, hay nueve plantas de tratamiento asociadas en el país, con tres de estas en la región del Biobío. Dos de ellas corresponden a instalaciones de trituración y la otra a pirólisis. También indica que en la zona hay una capacidad instalada para tratar entre 40.000 y 50.000 toneladas al año. En el anexo A.4 se profundiza en los sistemas aplicados.

Envases y Embalajes

Los tres GRANSICs de Envases y Embalajes en el país son Giro, ProREP y ReSimple, Siendo este último el más activo en la región del Biobío, enfocándose en residuos Domiciliarios mediante una campaña de recolección. Entregan bolsas especiales en las viviendas, donde se pide depositar envases de cartón, papel, latas de aluminio, cartón para bebidas y plástico, previamente lavados, secados y compactados, para así ser recogidos semanalmente. En algunas comunas de Santiago también recolectan vidrio de manera separada. A fecha de diciembre 2024, han alcanzado un 29% de cobertura en Concepción y se espera que para el 2027 logren un 57% en todo Chile. En el anexo A.5 se encuentran las metas de esta campaña en detalle.

Además de la recolección domiciliaria, se cuenta con puntos limpios y verdes, siendo la diferencia entre ambos que en el primero hay un mayor control, mediante personal presente en la instalación. TriCiclos es un gestor con múltiples localizaciones en el país y una de ellas en Sodimac Mall Plaza Mirador Biobío. Reciben entre 10 y 15 toneladas mensuales, enviando todo a Santiago.

En el ámbito No Domiciliario, Ambipar Ecofibras, ubicada en Coronel, es la instalación con mayor capacidad en la región (Aguirre, 2024). Recibe residuos preclasificados y lavados por empresas, realizando procesos de trituración y compactación para venderlos a recicladores, mayormente en Santiago y el extranjero. Tratan cerca de 184 toneladas mensuales, pudiendo aumentar a 600 toneladas. Actualmente es lo más cercano en la zona al proyecto que se estudia en este trabajo, pero hay planes para una nueva planta por Ecobío, con capacidad similar. Sin embargo, según actores locales, hay espacio y necesidad para nuevas plantas en la región (Aguirre, 2024) (Godoy, 2024).

2. Objetivos

Objetivo general: Desarrollar un estudio de factibilidad técnico-económica para seleccionar las tecnologías de separación idóneas que faciliten la implementación de la REP.

Objetivos específicos:

- Analizar el estado del arte respecto a la generación de residuos bajo la Ley REP en la Región del Biobío y establecer cantidades funcionales y realistas para una planta de separación de residuos.
- Examinar el estado del arte de las tecnologías de separación de residuos e identificar las que son aplicables a los materiales regulados por la Ley REP.
- Proponer el diseño de una planta de separación de residuos REP para el Gran Concepción.
- Evaluar la factibilidad técnico-económica de la Planta propuesta.

3. Materiales y Métodos

Debido a que este trabajo es teórico, no se requieren materiales especiales, por lo que en este capítulo solo se explica la metodología en forma general y específica para las actividades que así lo requieran.

3.1 Metodología General

A continuación, se describen las actividades realizadas para cumplir con cada objetivo:

Para el primer objetivo, estudiar las cantidades de generación de residuos prioritarios en la región del Biobío, se realizaron las siguientes actividades:

- 1.1 Contacto al Seremi de Medio Ambiente de la región del Biobío para obtener posibles datos y referencias.
- 1.2 Contacto con gestores de residuos.
- 1.3 Búsqueda bibliográfica sobre la generación de residuos en Chile y en la región, incluyendo informes, base de datos de RETC y artículos.
- 1.4 Cálculo de estimaciones para la región del Biobío, considerando la población de la zona comparado al país, junto a otros factores.
- 1.5 Definición del material y las cantidades con que trabajar, en base a la información estudiada y basándose en el material sin gestionar.
- 1.6 Comparar las cantidades a trabajar con casos reales, tomando en consideración lo conversado con actores locales y empresas oferentes de plantas completas.

Para el segundo objetivo, estudiar el estado del arte en tecnologías de separación para los residuos prioritarios, se efectuaron las siguientes actividades:

- 2.1 Búsqueda bibliográfica de informes y artículos sobre técnicas y procesos modernos en la separación de residuos.
- 2.2 Exploración de información disponible sobre plantas existentes en países desarrollados, incluyendo artículos de diarios, videos de YouTube subidos por las mismas empresas y las páginas web de estas. Esto con el fin de entender los procesos aplicados y equipos incluidos.
- 2.3 Estudio de oferta de equipos de fabricantes líderes en el rubro, mediante catálogos e información disponible en sus sitios web.
- 2.4 Analizar y seleccionar las tecnologías apropiadas para los residuos correspondientes.

Para el tercer objetivo, proponer un diseño de planta, se procedió de la siguiente manera:

- 3.1 Análisis de los posibles formatos de recolección, recepción de residuos en la planta y venta, con el fin de entender las separaciones necesarias a realizar. Para esto se indagó sobre los gestores y se realizaron entrevistas a representantes de ReSimple, TriCiclos y La Casa de Diógenes.
- 3.2 Visita a Ecofibras, para conocer los procesos y tecnologías aplicadas actualmente en la región.
- 3.3 Definir condiciones de batería, cantidades de material a tratar y productos. De esta forma se obtuvieron cuatro flujos totales, con dos enfoques y diseños distintos.
- 3.4 Confección de múltiples iteraciones de diseños de planta, siendo comparados con plantas existentes en Chile y en países desarrollados.
- 3.5 Contacto a empresas oferentes de plantas completas con distintos enfoques y tecnologías, para conocer sus soluciones y costos de cada una. Estas empresas fueron Stadler, AMP Sortation, Bollegraaf, Zhengzhou Yuxi, Baoding Baonan, Henan Hongzhi e Ingeniería Delta Limitada.

Para el último objetivo, análisis de factibilidad técnico-económica, el proceso fue el siguiente:

- 4.1 Contacto con empresas fabricantes de equipos incluidos en los dos diseños propios de planta, realizando videoconferencias con vendedores y buscando distintas opciones para cada producto.
- 4.2 Estimación de distintos costos asociados a la planta, tales como, terreno, sueldo de trabajadores y gasto energético.
- 4.3 Investigación sobre los costos de venta de los materiales separados, comunicándose con empresas de reciclaje como potenciales clientes y/o consultando su sitio web, los cuales fueron Reciclean, Recicladores Industriales y Recipet, revisando información bibliográfica de ANIR y un estudio de Invest Chile del año 2019 con cifras promedio del mercado nacional, y solicitando información mediante la consultora estadounidense Recycling Markets Limited para el mercado internacional.
- 4.4 Construcción de flujos de caja para cada diseño de planta, incluyendo los entregados por empresas. Cálculo del VAN y TIR para cada uno.
- 4.5 Cálculos de sensibilidad para los distintos diseños de planta, variando el precio de venta de material, la cantidad de este, el costo de equipos y número de trabajadores en selección manual.

3.2 Metodología específica

A continuación, se describe en detalle la metodología para las actividades que así lo requieran;

Actividad 1.3: Búsqueda bibliográfica sobre la generación de residuos en Chile y en la región, incluyendo informes, base de datos de RETC y artículos.

Existen distintas maneras de estimar la generación y disponibilidad de residuos, habiendo métodos específicos a ciertos grupos. Si bien se puede utilizar la base de datos del Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC), elaborada por el Ministerio del Medio Ambiente mediante declaraciones de municipalidades y empresas responsables (los productores bajo el marco de la Ley REP), los valores no generan confianza. Esto fundamentado en errores encontrados, posiblemente explicados por equivocaciones en dichas declaraciones, incluyendo problemas con unidades de medida o simplemente desconocimiento de los números correctos. Cuanto menos, resulta interesante hacer un análisis comparativo con otros estudios, para así concluir sobre la fiabilidad de cada cifra.

En cuanto a la información encontrada en RETC, hay dos planillas relevantes para el año 2022: una indicando cada productor que ha declarado, separado por tipo de residuo, y otra enfocada a los grupos prioritarios de la Ley REP. En la primera cuenta es donde se encontraron errores claros, por lo que no se consideró confiable, mientras que la segunda, que es a nivel país, sí, siendo necesario aplicar un ajuste a la escala regional. Las cantidades se encuentra diferenciadas por origen Domiciliario y No Domiciliario.

Aparte de RETC, se utilizaron los informes “Estudio del Material Disponible País y el reciclado de los productos prioritarios en Chile, 2022”¹ realizados por la consultora Kyklos para la Asociación Nacional de la Industria del Reciclaje (ANIR). No se hace diferenciación por origen, pero sí por tipo, teniendo información específica para aluminio y hojalata, por parte de los metales, y Tereftalato de polietileno (PET), Polipropileno (PP) y Polietileno (PE), por parte de los plásticos. Para esto utilizan distintos métodos, variando según el residuo en cuestión, los cuales son:

- Proyecciones en base a un estudio del año 2017 por la constructora GESCAM. Aplicado a Neumáticos.
- Cálculo en base a permisos de circulación del año anterior (2021 en este caso). Aplicado en

¹ Al momento de la recuperación de estos datos (septiembre 2024) no se encontraba aún publicada la versión 2023, la cual fue vista por primera vez en la página de ANIR en diciembre 2024, por lo que no se pudo considerar en el trabajo.

Neumáticos, suponiendo dos cambios por vehículo al año.

- Análisis de importaciones y exportaciones. Aplicado en Neumáticos, Aceites Lubricantes y Baterías.
- Análisis sectorizado, en base a la participación de mercado y los datos obtenidos por medio de entrevistas a empresas comercializadoras (ANIR, 2023), además de análisis de los códigos arancelarios en algunos materiales.

Junto a lo anterior, se utilizó el estudio “Evaluación económica, ambiental y social de la REP en Chile”, elaborado por Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) el año 2010, con proyecciones sobre la generación de algunos residuos para el año 2020, además de la distribución de algunos grupos en específico.

Otra fuente es el informe “Diagnóstico y Catastro Residuos Sólidos Domiciliarios” año 2019 realizado por la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (Subdere), junto a la versión 2024. En estos catastros se encuentran estimaciones regionales, pero solo en la versión 2019 especificado por tipo de residuo, por lo que se requiere un tratamiento de datos para las estimaciones más actuales, explicado más adelante,

Para el caso de los neumáticos, estudiados como Neumáticos Fuera de Uso (NFU), también se dispone de reportes de la Cámara de la Industria del Neumático de Chile (CINC), los cuales consideran las unidades reemplazadas y de vehículos en desuso. Para esto se toman en cuenta distintas áreas, como minería, construcción, transporte industrial, uso personal, agrícola, etc. Al que con la información de RETC, ANIR y Subdere, se utiliza la versión con información del 2022.

Para Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) también se toman en cuenta estimaciones a nivel nacional realizadas por Fundación Chile, en base a una generación per cápita, y un estudio por la consultora R2BIZ, del año 2019, para el Ministerio del Medio Ambiente. Para esto se encuestaron a los principales gestores de RAEE en Chile y a municipalidades, lo cual no tuvo éxito (E2BIZ, 2019) debido a la respuesta deficiente de la mayoría de los participantes. Por esto se tuvo que cambiar la metodología, realizando supuestos y búsquedas en sitios web y documentos, en base al conocimiento previo del equipo.

Actividad 1.4: Cálculo de estimaciones de generación de residuos para la región del Biobío

Para ajustar los datos nacionales a nivel regional, se utilizó un ajuste per cápita, usando un factor

F de escalamiento en base a la población del Biobío² y de Chile, calculado de la siguiente manera:

$$F = \frac{\text{Población Región del Biobío}}{\text{Población Chile}} = \frac{1.686.225}{19.607.267} = 0,086 \quad (\text{ecuación 1})$$

Y este factor F es utilizado de la siguiente forma:

$$\text{Cantidad}_{\text{Chile}} * F = \text{Cantidad}_{\text{Chile}} * 0,086 = \text{Cantidad}_{\text{Biobío}} \quad (\text{ecuación 2})$$

Para el caso de neumáticos, para acotar las estimaciones a la región del Biobío no es suficiente una estimación per cápita, ya que la generación de NFU se ve muy afectada por la cantidad de industrias y movimiento de camiones. Por esto es que se toma en cuenta el gráfico a continuación, extraído del informe de GIZ.

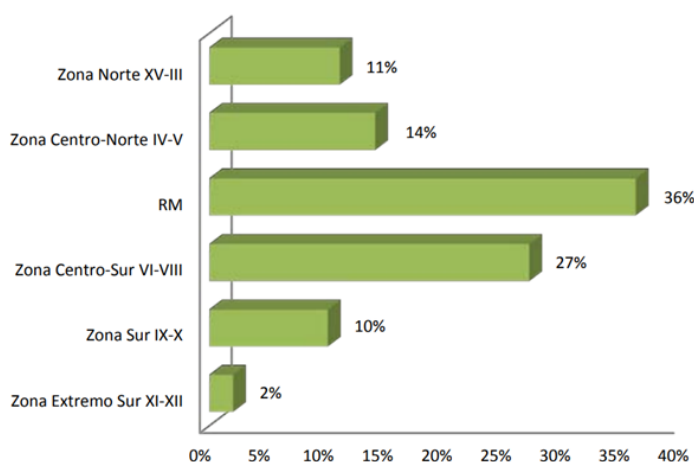


Figura 3.1 Comercialización de neumáticos por zona (GIZ, 2010).

En la Figura 3.1 se puede apreciar que la zona centro sur representa un 27% de la comercialización nacional de neumáticos y engloba desde la sexta hasta la octava región. A esto se le aplica un ajuste per cápita (distinto al anterior), considerando a la nueva región del Ñuble aparte, según las poblaciones mostradas a continuación:

Tabla 3.1 Poblaciones en las regiones de la zona Centro-Sur en los últimos tres años.

Año	Total	Libertador General Bernardo O'Higgins	Maule	Ñuble	Biobío	Fracción región del Biobío
2022	4.355.924	1.009.552	1.153.043	517.060	1.676.269	0,38
2023	4.381.209	1.017.701	1.162.641	519.437	1.681.430	0,38
2024	4.405.504	1.025.586	1.171.982	521.711	1.686.225	0,38

² En base a proyecciones del Censo 2017 a fecha de septiembre 2024. Esto debido a que resultados del censo 2024 no estaban disponibles cuando se realizó este trabajo.

Como se puede apreciar en la Tabla 3.1, la fracción de la región del Biobío en la zona Centro-Sur es de 0,38. Se utiliza este factor y el porcentaje de la Figura 3.1 de la siguiente manera:

$$NFU_{Chile} * 0,27 * 0,38 = NFU_{Biobío} \quad (\text{ecuación 3})$$

Por otro lado, para aplicar la información entregada por Subdere se utiliza el siguiente gráfico, en la Figura 3.2, del estudio mencionado, versión 2017:

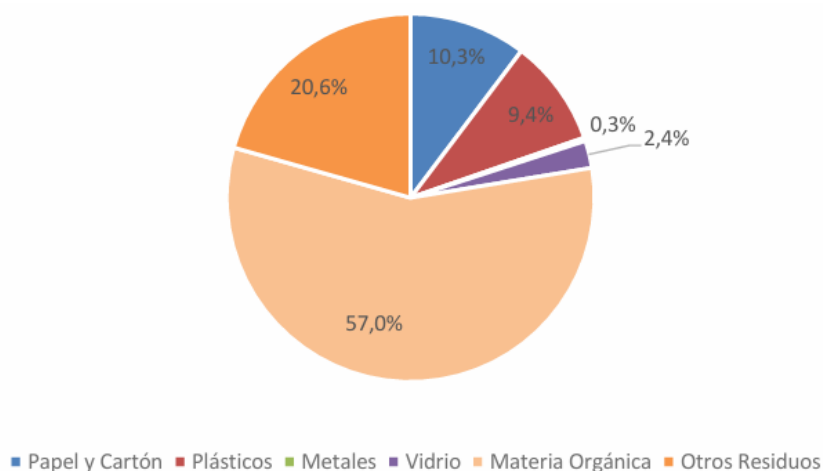


Figura 3.2 Composición porcentual de Residuos Sólidos Domiciliario y Asimilables en la Región del Biobío (Subdere, 2019).

Para utilizar estas fracciones, se multiplicaron por la cifra total del año 2022, equivalente a 643.089 toneladas.

Actividad 1.5: Definición del material y las cantidades con que trabajar, en base a la información estudiada y basándose en el material sin gestionar.

Para definir la cantidad de material con la que se trabajará en la planta, se utilizan los valores presentados por ANIR como Material Disponible País (MDP), Material Gestionado País (MGP) y Material No Valorizado País (MNVP). El primero indica la cantidad total generada y es la utilizada para la actividad 1.4. El segundo representa cuánto de dicho material se gestiona, obtenido mediante entrevistas a actores del rubro. El último representa la diferencia entre los otros dos números. Con esto, se calcula el Material No Valorizado Biobío (MNVB), mediante el factor F de la siguiente forma:

$$MNVB = F * (MDP - MGP) = 0,086 * MNVP \quad (\text{ecuación 4})$$

A pesar de que la valorización no está relacionada con la distribución poblacional, se utiliza el mismo factor $F = 0,086$, ya que dentro de la incertidumbre que dicha estimación pueda dar, se incluyen otras variables como la posibilidad de nuevos acuerdos con gestores que ya tratan con los valorizadores existentes, la capacidad técnica instalada obsoleta o de baja calidad y los residuos que

actualmente son enviados a Santiago.

Actividad 4.2: Estimación de distintos costos asociados a la planta

Costos de operación

Los costos de operación se consideraron como la suma de gasto en transporte y energía de los equipos. Para esto se recurrió a la siguiente ecuación:

$$C_{Operación} \left[\frac{USD}{año} \right] = C_{Transporte} \left[\frac{USD}{año} \right] + C_{Energía} \left[\frac{USD}{año} \right] \quad (\text{ecuación 5})$$

Con:

$$C_{Transporte} = \frac{D_T [km]}{Con_{Camión} \left[\frac{km}{L} \right]} * P_{Com} \left[\frac{CLP}{L} \right] * \frac{N_{Material} \left[\frac{ton}{año} \right]}{Cap_{Camión} [ton]} * D_{CLP} \left[\frac{USD}{CLP} \right] \quad (\text{ecuación 6})$$

Con:

- D_T : Distancia del transporte.
- $Con_{Camión}$: Consumo de los camiones.
- P_{Com} : Precio de combustible.
- $N_{Material}$: Cantidad de material año.
- $Cap_{Camión}$: Capacidad de los camiones.
- D_{CLP} : Cambio de CLP a USD.

Y el otro término:

$$C_{Energía} = \sum E_{Equipos} [kW] * P_E \left[\frac{CLP}{kWh} \right] * H_A \left[\frac{h}{año} \right] * D_{CLP} \left[\frac{USD}{CLP} \right] \quad (\text{ecuación 7})$$

Con:

- $E_{Equipos}$: Consumo eléctrico de los equipos de la planta
- P_E : Precio de electricidad
- H_A : Horas de trabajo al año

Costos fijos

Los costos fijos se consideraron como la suma de los salarios y el gasto en agua. Para esto se recurrió a la siguiente ecuación:

$$C_{Fijo} \left[\frac{USD}{año} \right] = C_{TotalSalarios} \left[\frac{USD}{año} \right] + C_{Agua} \left[\frac{USD}{año} \right]$$

$$= \sum Salarios \left[\frac{USD}{año} \right] + P_{Agua} \left[\frac{USD}{L} \right] * N_{Agua} \left[\frac{L}{año} \right]$$

(ecuación 8)

Con:

- Salarios: Pago de sueldos anuales
- P_{Agua} : Precio del agua
- N_{Agua} : Cantidad de agua

Actividad 4.4: Construcción de flujos de caja y cálculo del VAN y TIR

Escalamiento equipos

Para poder comparar el diseño propio con los entregados por empresas, dado que son en función de flujos distintos, se utiliza la siguiente relación (Peters & Timmerhaus, 2002)

$$Costo\ equipo\ 2 = Costo\ equipo\ 1 * \left(\frac{magnitud\ 2}{magnitud\ 1} \right)^{0,6}$$

(ecuación 9)

Donde las magnitudes representan a la variable que cambia para cada diseño, para este caso, el flujo de residuos entrante a la planta.

Estimación del costo de instalación

Para estimar el costo de instalación de los equipos para la planta, se utilizó la siguiente ecuación:

$$C_i[USD] = C_c[USD] * Fi$$

(ecuación 10)

Con:

- C_i : Costo de instalación
- C_c : Costo de compra (o costo FOB)
- Fi : Factor de instalación. Extraído de la siguiente tabla, del libro Chemical Engineering Design de Gavin Towler.

En el B se encuentra la tabla con los valores para cada tipo de equipo. Dado a que los equipos con los que se trabaja en las plantas de separación de residuos sólidos no aplican a ningún otro grupo de la lista, se utiliza el factor 2,5 para todos los casos, correspondiente a equipos misceláneos.

Flujo de caja, VAN y TIR

Para evaluar la factibilidad económica de la planta, se calculan los flujos de caja acumulados desde un año 0, cuando se realiza la inversión inicial, hasta un año 10. Esto es calculado de la siguiente forma:

$$FCA_t = FCD_t + FCA_{t-1} \quad (\text{ecuación 11})$$

Con:

- FCA_t : Flujo de caja acumulado para el año t
- FCD_t : Flujo de caja descontado para el año t
- FCA_{t-1} : Flujo de caja acumulado para el año t-1

Para calcular el FCD_t se utilizó el comando VA de Excel, usando el flujo de caja del año correspondiente, la tasa de descuento, equivalente a 10%, y el número de año t.

El Flujo de Caja (FC) de cada año es calculado de la siguiente manera:

$$FC_t = RON_t - IE_t - IT_t \quad (\text{ecuación 12})$$

Con:

- FC_t : Flujo de caja para el año t
- IE_t : Inversión en equipos en el año t
- IT_t : Inversión en terreno para el año t
- RON_t : Resultado operacional neto para el año t, calculado de la siguiente manera:

$$RON_t = Rdl_t + Dep_t + VL_t \quad (\text{ecuación 13})$$

Con:

- Dep_t : Depreciación de activos para el año t
- VL_t : Valor libro al año t, aplicado sólo al último año
- Rdl_t : Resultado después de Impuestos para el año t, calculado de la siguiente manera:

$$Rdl_t = RaI_t * (1 - 0.19) \quad (\text{ecuación 14})$$

Con:

- RaI_t : Resultado antes de Impuestos para el año t, calculado de la siguiente manera:

$$RaI_t = EBITDA_t - Dep_t - VL_t \quad (\text{ecuación 15})$$

Con:

- EBITDA: Beneficios antes de intereses, impuestos, depreciación y amortización para el año t, calculado de la siguiente manera:

$$EBITDA_t = N_{Material,t} * P_{venta,t} - C_{Operación,t} - C_{Fijo,t} \quad (\text{ecuación 16})$$

Con:

- $N_{Material,t}$: Cantidad de material separado en toneladas, al año t
- $P_{venta,t}$: Precio de venta para el año t
- $C_{Operación,t}$: Costo de operación para el año t
- $C_{Fijo,t}$: Costo fijo para el año t.

Cabe destacar que, para el año $t = 0$, no hay producción ni costos de operación, por lo que solo se considera el costo de la inversión.

Con los flujos de caja calculados para todos los años considerados, se obtiene la tasa interna de retorno y el valor actual neto mediante los comandos TIR y VNA, respectivamente, en Excel.

Actividad 4.5: Cálculos de sensibilidad para los distintos diseños de plantas

Para calcular la sensibilidad de los indicadores TIR y VAN de cada caso, en base a los parámetros de precio de venta del material, la cantidad de este, los trabajadores contratados para selección manual y el costo de los equipos. Para esto, se utilizó la siguiente ecuación:

$$S_{Parámetro}^{Indicador} = Parámetro \cdot \frac{\Delta Indicador}{\Delta Parámetro} = \frac{\Delta Indicador}{\Delta \% Parámetro} \quad (\text{ecuación 17})$$

Con la ecuación 15, se mide cuanto cambia, en unidades, el indicador seleccionado por cada % del parámetro alterado. Para el caso en que el parámetro sea la cantidad de personas, se calcula la sensibilidad absoluta, de la siguiente forma:

$$S a_{Parámetro}^{Indicador} = \frac{\Delta Indicador}{\Delta Parámetro} \quad (\text{ecuación 18})$$

Con la ecuación anterior, se calcula cuanto cambia el indicador por cada unidad del parámetro.

4. Resultados y Discusión

Acorde a la metodología explicada en el capítulo anterior, se obtuvieron los resultados presentados a continuación, divididos por objetivo. Todos los datos en base a valores del año 2022 (informados el 2023), salvo cuando se indique otra cosa.

4.1 Objetivo 1: Estado del arte respecto a la generación de residuos bajo la Ley REP en la Región del Biobío y cantidades a trabajar

La generación de residuos de grupos prioritarios para la región del Biobío se estima en base a las fuentes y ajustes explicados. A continuación, se encuentran los resultados. Los valores originales no ajustados, es decir, a escala nacional, se encuentran en el anexo C.

Neumáticos

En la Tabla 4.1 a continuación, se muestran las estimaciones para NFU, según distintas fuentes:

Tabla 4.1 Resumen de estimaciones de NFU generados el año 2022 en la región del Biobío.

Método	CINC	GESCAM	Permisos de circulación	Importaciones	RETC
Cantidad (toneladas)	18.329	17.829	14.549	22.505	18.441

Como se puede apreciar, la diferencia máxima entre resultados es de 7.956 toneladas de NFU, que se presenta entre los métodos de permisos de circulación e importaciones y exportaciones, con un porcentaje de error de 35%. Por otro lado, el promedio de estos datos es de 18.331, lo que sugiere que una leve diferencia entre las distintas estimaciones.

Envases y Embalajes

A continuación, se muestran los cálculos de residuos domiciliarios por tipo, en base a la información de Subdere, como se explicó en la metodología específica.

Tabla 4.2 Cantidades de RSDyA producidos por tipo, en base a información de Subdere (2022).

(toneladas)	Papel y Cartón	Plásticos	Metales	Vidrio
Estimación Biobío	66.238	52.883	19.293	15.434

Como se puede observar en la Tabla 4.2, los residuos de papel y cartón son los más producidos, seguidos por plásticos, con más del doble de los metales y vidrio.

En la tabla a continuación, se muestran los valores entregados por RETC, ajustados a la región

del Biobío con la ecuación 2, divididos entre Domiciliarios y No Domiciliarios:

Tabla 4.3 Estimaciones de generación de EyE en la región del Biobío en base a información de (RETC, 2023)

<i>Tipo (toneladas)</i>	<i>EyE Cartón y Papel</i>	<i>EyE Plástico</i>	<i>EyE Metal</i>	<i>EyE Madera</i>	<i>EyE Vidrio</i>	<i>EyE Cartón Bebidas</i>
<i>Domiciliarios</i>	55.207	425.838	25.855	45.513	115.527	2.103
<i>No Domiciliarios</i>	71.186	71.186	67.220	63.370	-	-
<i>Total</i>	126.393	501.820	93.075	108.883	115.527	2.103

Como se puede ver en la Tabla 4.2 y la Tabla 4.3, RETC informa una cantidad 8 veces mayor de EyE plásticos de origen domiciliario que el total de RSDyA de dicho material extraído de Subdere, mientras que una casi 6 veces mayor para el caso del vidrio. Por otro lado, los datos de cartón y papel de RETC se encuentran por debajo de los de Subdere y para metales los sobrepasa por 6.562 toneladas.

Las diferencias anteriores se pueden deber a la introducción de datos incorrectos a RETC, con errores en unidades de medida o en estimaciones realizadas por los productores, o equivocaciones por parte de Subdere. Para analizar las cifras totales se compara con lo entregado por ANIR, para lo que se individualizaran los casos de plásticos y metales, ya que cuentan con estudios específicos por subclasificación de material.

Envases y Embalajes de Plástico

A continuación, se presentan las cantidades ajustadas de EyE de plástico, diferenciado por tipo (PET, PE y PP), en base a los estudios de ANIR realizados por Kyklos:

Tabla 4.4 Cantidades estimadas para la región del Biobío de EyE plásticos por tipo, (ANIR, 2023).

<i>(toneladas)</i>	<i>PET</i>	<i>PE</i>	<i>PP</i>	<i>Total Plásticos</i>
<i>Estimación Biobío</i>	10.166	12.965	8.420	31.550

Como se puede apreciar en la Tabla 4.4, los EyE plásticos de tipo PE son los de mayor generación, con un 41% del total, seguidos por PE, equivalente a un 32%, siendo el resto correspondiente al PP. Cabe destacar que hay otros tipos de plástico en el mercado, pero ANIR solamente evalúa estos tres. Al comparar con RETC (Tabla 4.3), se puede ver que el total es casi 16 veces menor, lo que podría quizás explicarse con la ausencia de los polímeros no considerados. Sin embargo, la cuenta de 31.550 toneladas se ajusta dentro del valor estimado por medio de Subdere para tipo Domiciliario, a pesar de que ANIR considera tanto este origen como el no domiciliario.

Envases y Embalajes de Metal

A continuación, se presentan las cantidades ajustadas de EyE de metal, diferenciado por tipo (aluminio y hojalata), en base a los estudios de ANIR realizados por Kyklos:

Tabla 4.5 Cantidades estimadas para la región del Biobío de EyE de metal por tipo, (ANIR, 2023).

<i>(toneladas)</i>	<i>Aluminio</i>	<i>Hojalata</i>	<i>Total Metales</i>
<i>Estimación Biobío</i>	4.271	5.006	9.277

Como se puede apreciar en la Tabla 4.5, hay una generación de residuos de EyE de hojalata ligeramente mayor a la de aluminio, representando un 54% del total. Por otro lado, al igual que en el caso de los plásticos, esta suma es más concordante con lo extraído de Subdere (Tabla 4.2) que de RETC (Tabla 4.3), siendo un 48% del primer valor y un 1% del segundo. Esto sugiere una subestimación por parte de Kyklos, una sobreestimación por parte de las otras dos fuentes (mayormente por RETC) o una combinación de ambos.

Envases y Embalajes de cartón y papel, vidrio y cartón para bebidas

A continuación, se presentan las cantidades ajustadas de EyE de cartón y papel, vidrio y cartón para bebidas, en base a los estudios de ANIR realizados por Kyklos:

Tabla 4.6 Cantidades estimadas para la región del Biobío de de EyE de cartón y papel, vidrio y cartón para bebidas (ANIR, 2023).

	<i>Cartón y Papel</i>	<i>Vidrio</i>	<i>Cartón para Bebidas</i>
<i>Estimación Biobío (toneladas)</i>	73.621	38.838	2.219

Al igual que en según lo visto en la Tabla 4.2 y la Tabla 4.3, se presenta una mayor generación de EyE de cartón y papel que de vidrio, pero los valores entregados son distintos. Sin embargo, lo informado por ANIR, para ambos materiales, se encuentra en el mismo orden de magnitud que lo extraído de Subdere pero con valores mayores, sugiriendo una concordancia, ya que esto último es solo considerando Residuos Domicilarios.

Por otro lado, la diferencias con RETC son más significativas, con porcentajes de error de 42% y 66% para cartón y papel y vidrio, respectivamente. Para el caso de cartón para bebidas, este los valores son mucho más cercanos, con un porcentaje de error de tan solo 5%.³ Este contraste se puede explicar a que este último grupo prioritario es dominado por una sola marca, Tetra Pak, por lo que las estimaciones dependen de una menor cantidad de actores.

³ En este caso el cálculo del porcentaje de error entre las estimaciones en base a los informes de Kyklos para ANIR y lo extraído de RETC es apropiado, ya que no hay subclasificaciones que produzcan diferencias inherentes entre ambos.

Aceites Lubricantes

En la Tabla 4.7 a continuación se muestran las estimaciones de generación de residuos de aceites lubricantes en la región del Biobío, basándose en distintas fuentes:

Tabla 4.7 Resumen de estimaciones de Aceites Lubricantes residuales generados en la región del Biobío el 2022.

<i>Método</i>	<i>Análisis sectorizado</i>	<i>GESCAM</i>	<i>Importaciones y Exportaciones</i>	<i>ECOBAUS</i>	<i>RETC</i>	<i>GIZ (2020)</i>
<i>Estimación Biobío (toneladas)</i>	<i>11.584</i>	<i>11.710</i>	<i>9.578</i>	<i>12.254</i>	<i>15.060</i>	<i>8.073</i>

En este caso, la diferencia máxima entre resultados es de 6.987 toneladas, entre los datos de RETC y la estimación de GIZ para el 2020. Si se toman en cuenta solo estudios sobre el 2022, la mayor desigualdad es de 5.482 toneladas entre RETC e importaciones y exportaciones, lo que representa un porcentaje de error de 36%. Por otro lado, el promedio es de 12.037,2 toneladas y de 11.376,5 excluyendo la proyección para el 2020. Así se puede ver que, para este caso, las distintas cifras presentan cierta disparidad.

Aparatos Eléctricos y Electrónicos

Para los residuos de RAEE no se lograron encontrar fuentes con estimaciones concordantes. Fundación Chile indica que para el 2020 se generaban 11,6 kilogramos de RAEE por habitante en el país, lo que equivaldría a 24.113 toneladas en la región del Biobío y 280.384 a nivel nacional. Por otro lado, en RETC se encuentra una cuenta de 27.375.122 toneladas totales en 2022, con 22.248.048 toneladas de “Equipos de informática y telecomunicaciones pequeños”. Esto es evidentemente un error, ya que sobrepasa la cantidad total estimada de generación de residuos sólidos de cualquier tipo en Chile al año. Mientras tanto, el estudio de la consultora E2BIZ informa las cantidades de 5.676 toneladas a nivel nacional y 1.111 en la región del Biobío.

Baterías

En la tabla a continuación se muestran las estimaciones de generación de BFU en la región del Biobío, basándose en distintas fuentes:

Tabla 4.8 Resumen de estimaciones de NFU generados el año 2022 en la región del Biobío.

<i>Método</i>	<i>Importaciones y exportaciones, peso (2022)</i>	<i>GESCAM (2022)</i>	<i>RETC (2022)</i>	<i>GIZ (2020)</i>
<i>Cantidad Región del Biobío (toneladas)</i>	2,873	3,829	3,039	3,396

Como se puede ver en la tabla, la mayor diferencia resulta entre la estimación por GESCAM y el cálculo mediante importaciones y exportaciones, con un valor de 956 toneladas y un porcentaje de error de 25%. Mientras que el promedio es de 3.034,3 toneladas y de 2.913,7 al excluir el estudio de GIZ. Esto indica una menor disparidad que con los otros grupos prioritarios, a excepción de EyE de cartón para bebidas.

Pilas

Para el caso de las pilas, solo se encontró lo entregado por RETC, que aplicando el ajuste regional, se obtiene una cantidad de 1.267 toneladas. En el anexo C.1, se encuentra el desglose a nivel nacional.

Cantidad de material a utilizar y casos a trabajar

El enfoque de este trabajo es el de una planta de separación para envases y embalajes, esto en base a los siguientes razonamientos:

Decretos Supremos publicados: A la fecha de realización de este trabajo, solo hay Decretos Supremos publicados para neumáticos, envases y embalajes y aceites lubricantes. Esto genera una urgencia respecto al tratamiento de estos grupos, a diferencia de Pilas y RAEE, que no tienen D.S. publicado o Baterías que aún no tienen metas. Además, El D.S. N°12, sobre EyE, indica que “las metas de valorización podrán cumplirse únicamente a través del reciclaje material de los residuos” (D.S.N°12, 2021) . De tal forma, la separación de los materiales es aún más necesaria, ya que para el reciclaje es necesario disponer de los residuos en estado más puro posible.

Claridad en cantidad de material generado: Como se observa en el estudio sobre la generación de residuos, existen grupos con discrepancias en las cantidades reportadas por distintas fuentes. Sin embargo, en el caso de los RAEE, la diferencia es considerablemente mayor, con niveles de magnitud significativamente distintos. Por este motivo, no es posible definir un marco de referencia confiable para este tipo de residuo en la actualidad.

Necesidad de una planta de separación en la cadena de valorización: Para baterías, neumáticos, aceites lubricantes y pilas no hay una real necesidad de plantas de separación, debido al formato de los residuos y la forma de extraer los materiales reciclables o reutilizables. Generalmente cualquier proceso de separación es realizado en las mismas instalaciones de valorización.

Material No Valorizado BioBío

Para el diseño y evaluación de la planta de separación de Envases y Embalajes se utilizan los datos entregados por los informes de Kyklos para ANIR. Esto debido a que, como se evidenció, las cantidades encontradas en RETC no son confiables y los valores calculados mediante datos de Subdere son solamente respecto a origen Domiciliario y no específicamente de EyE.

Como se explicó para la actividad 1.5 en la metodología, se considera el MDP, el MGP y el MNVP. En el C.2 se encuentran estos valores para todos los EyE, mientras que en la tabla a continuación se muestra el resultado del ajuste a la región del Biobío de este último parámetro, catalogado para este trabajo como Material No Valorizado Biobío (MNVB):

Tabla 4.9 Material No Valorizado Biobío, en toneladas al año.

	Vidrio	Cartón y Papel	Cartón para bebidas	Aluminio	Hojalata	PET	PE	PP
MNVB	26.026	38.440	2.163	3.363	2.035	8.265	8.681	6.800

Como se puede apreciar en la Tabla 4.9, esto da una cantidad total de 95.782 toneladas. De esta forma, se decide trabajar con dos casos:

Caso a corto plazo: Considerando un sistema de baja inversión y residuos de origen No Domiciliarios, junto a materiales provenientes de puntos limpios, todo preclasificado. Para esto se consideran cantidades arbitrarias, en base a flujos por hora para diseñar equipos y teniendo en cuenta las estimaciones regionales, considerando 16 horas de trabajo, 22 días al mes. Así, se obtiene lo siguiente:

Tabla 4.10 Cantidades de material para caso corto plazo.

	<i>ton/h</i>	<i>~ton/mes</i>	<i>~ton/año</i>
<i>Metales</i>	0,5	176	2.112
<i>Plásticos</i>	0,4	141	1.682
<i>Film LDPE</i>	0,1	35	420
<i>Vidrio</i>	0,1	35	420
<i>Cartón para Bebidas</i>	0,05	18	216
<i>Cartón corrugado</i>	0,5	176	2.112
<i>Cartón y papel</i>	0,5	176	2.112
<i>Total</i>	1,55	757	9.084

Para diferenciar el film LDPE del resto de los plásticos y el Cartón Corrugado del resto de los Cartones y Papeles, se escogieron cantidades aproximadas, considerando el potencial económico y conversaciones con gestores locales. Además, no se considerarán EyE de madera, ya que no hay estudio de ANIR al respecto y generalmente se trata como residuo por separado. Por otro lado, las cantidades se consideran realistas al comparar con otras instalaciones, como Ambipar Ecofibras.

Caso a largo plazo: Considerando una reinversión sobre la planta del caso a corto plazo y añadiendo residuos domiciliarios, teniendo en cuenta, principalmente, posibles acuerdos con gestores como ReSimple para tener acceso al material recolectado en viviendas. Así alimentando una corriente única, a excepción del vidrio, que entra por separado. Para esto se plantean tres diseños, los dos primeros para el 50% y el 90% del MNVR, en base a 16 horas de trabajo por día, 22 días al mes, los 12 meses del año, y un tercero de 24,5 toneladas por hora (lo cual queda dentro del total producido en la región), que corresponde aproximadamente al doble que el caso de 90%. Las fracciones de cada grupo son redondeadas y afinadas tras conversaciones con fabricantes de equipos y sistemas completos. Así, se obtienen los siguientes flujos anuales: Diseño A, 24.077 toneladas; B, 51.955 toneladas y C, 103.488 toneladas. En la tabla siguiente se muestran las fracciones y flujos por hora de cada diseño:

Tabla 4.11 Flujos para los tres diseños de largo plazo.

		Vidrio	Cartón y papel	Cartón para bebidas	Aluminio	Hojalata	PET	PE (entre LDPE y HDPE)	PP	Total (sin vidrio)	Total reciclables	Total
	Porcentaje	22,5%	35,0%	4,0%	3,5%	2,0%	8,5%	9,0%	7,0%	69%	92%	8% otros
Diseño A	ton/h	1,3	2,0	0,2	0,2	0,1	0,5	0,5	0,4	4,3	5,2	5,7
Diseño B	ton/h	2,8	4,3	0,5	0,4	0,2	1,0	1,1	0,9	8,5	11,3	12,3
Diseño C	ton/h	5,5	8,6	1,0	0,9	0,5	2,1	2,2	1,7	16,9	22,5	24,5

Como se puede apreciar en la Tabla 4.11, la fracción total reciclable de la corriente es de un 92%, con el otro 8% correspondiendo a elementos de otros materiales, suciedad y objetos que no correspondan en el proceso. Este valor se estimó en base a conversaciones con fabricantes de plantas completas, que generalmente manejan fracciones y residuos similares. Además, en base a dichas interacciones, se confirma la adecuación de los valores para plantas de este tipo.

Por otro lado, las fracciones que se obtengan en un caso real pueden variar en cantidades importantes, por lo que para un diseño correcto de una planta de este tipo es necesario tomar muestras y realizar estudios de la composición, suciedad y humedad de los materiales. Un cambio en el porcentaje de los materiales puede afectar significativamente en el diseño de los equipos, además del potencial económico en base al precio de venta de los productos.

4.2 Objetivo 2: Estado del arte respecto a las tecnologías de separación de residuos a los cuales aplica actualmente la Ley REP

Con los avances tecnológicos modernos han surgido una gran cantidad de métodos y sistemas para separar los residuos reciclables, tanto entre ellos como en sus componentes. De esta forma es que las formas de realizar estas tareas han evolucionado desde la selección manual, realizada por personas, procedimiento muy propenso a errores y con claras limitaciones en eficiencia. Esto presenta un problema, ya que, debido a las grandes cantidades que se requieren tratar hoy en día, es necesario un nivel de precisión y de velocidad sobrehumanos. Es por esto por lo que un proceso puramente manual no es factible para plantas como las que se consideran en este trabajo. Así es como hoy en día se presenta un gran abanico de opciones para enfrentar estos problemas, con un gran mercado de fabricantes y empresas de soluciones innovando constantemente.

Tecnologías aplicables a Envases y Embalajes

En base al enfoque de este trabajo, centrado en Envases y Embalajes, es que el estudio de tecnologías fue principalmente desde la perspectiva de estos residuos. A continuación, se explican los principales y más modernos procesos y equipos utilizados en plantas de separación. En D se encuentran imágenes y diagramas de referencia.

Separación por tamaño y peso

En las plantas de separación de residuos modernas se aprovechan las características físicas de los residuos para ser separados entre sí, tales como, la densidad, la forma y la masa. De esta forma, hay equipos que logran segregar elementos por tamaño y forma, por medio de procesos mecánicos.

Trómel de criba: Son tamices rotativos de gran tamaño. Tienen forma de cilindro perforado, a través del cual se transportan los residuos de manera axial. Las perforaciones hacen que los elementos caigan durante el transporte a lo largo del equipo, siendo así clasificados por su tamaño. Finalmente, los objetos más grandes abandonan la máquina por el la salida final.

Separador balístico: Es un equipo en el cual se depositan los elementos a separar sobre plataformas alargadas paralelas, las cuales se agitan o mueven de forma oscilante, haciendo mover los objetos sobre ellas. Están posicionadas de forma inclinada, lo que hace que los elementos planos (“bidimensionales”), como papel o cajas aplastadas, asciendan un extremo con una salida, mientras que los objetos pesados y/o tridimensionales, como latas y botellas, desciendan de manera rodante hasta la otra apertura. Algunos modelos tienen perforaciones en las plataformas para lograr una

separación en tres tamaños distintos, siendo el nuevo grupo conformado por partículas finas, como etiquetas o tierra.

Separadores por corrientes de aire: Son equipos cerrados en los cuales se utiliza aire para clasificar objetos por peso, arrastrando los elementos más livianos hacia una salida, generalmente en la parte superior de la máquina, y dejando las partículas pesadas caer al fondo. Son principalmente usados para purificar corrientes de material de poco tamaño (por ejemplo, vidrio molido) de suciedad y pequeños residuos, tales como, papeles y micro plásticos.

Tanque de flotación: Se utiliza agua o algún otro fluido para separar materiales por densidad, recogiendo desde la superficie los que floten y desde el fondo los que no. A diferencia del sistema anterior, el tamaño de los objetos no importa, ya que, la separación resultante es independiente de su masa total.

Separación por electromagnetismo

Aprovechando las características electromagnéticas de los materiales, se emplean dos sistemas de separación, explicados a continuación:

Separador magnético: Se utilizan imanes para separar metales ferrosos de otros residuos. Se pueden aplicar de distintas formas, como se muestra en la figura 2.5. siendo las más típicas en este tipo de plantas el tambor rotatorio (A.) y la cinta magnética superior (B.) o de banda. Ambos funcionan bajo el mismo principio, atraer las partes afectadas por el campo (FE-parts en la figura).

Separador de Foucault: También comúnmente llamado separador de Eddy Current (corriente Eddy), es usado para separar otros tipos de metales, como el aluminio y el cobre. Para esto se emplean campos magnéticos en movimiento para inducir corrientes de Foucault. Esto se realiza alrededor de una cinta transportadora, en cuyo final los materiales afectados son expulsados por el actuar de la fuerza repulsiva generada en el proceso.

Separación de capas

Hidrapulping: Es un proceso utilizado principalmente para separar envases multicapa. Se alimenta un estanque con agua, el cual es agitado fuertemente con un rotor, para así desintegrar los componentes y crear una pulpa con el papel y cartón, la cual queda suspendida en la superficie. Los otros materiales, como aluminio y plástico, quedan al fondo. De esta forma se recuperan las fibras de celulosa para ser recicladas, mientras que los otros elementos se pueden desechar o purificar mediante otras técnicas como la extrusión (explicada en el siguiente punto).

Extrusoras: Utilizado para apartar plásticos adheridos a otros materiales, como el caso de envases Tetra Pak o zunchos y cintas de cajas de cartón. Se calienta el residuo, derritiendo parcialmente los polímeros y debilitando los adhesivos, para luego ser presionados. De esta forma, las capas son separadas. Es un proceso de poca eficiencia, debido a su lentitud, por lo que generalmente es omitido.

Separación óptica

Los separadores ópticos son equipos en los que los objetos son reconocidos visualmente en tiempo real mientras avanzan por una cinta transportadora. En el extremo final de la máquina, en base a las decisiones realizadas por un software de control que usa la información recolectada, los residuos son separados con corrientes puntuales y precisas de aire comprimido. De esta forma se obtienen dos fracciones, una corriente aceptada, es decir, que cumple con las condiciones programadas, y una rechazada. Algunas de las tecnologías de reconocimiento empleadas son:

- Espectroscopía de infrarrojo cercano (NIR por sus siglas en inglés): Se utilizan sensores que captan la radiación electromagnética entre 800 nm y 2.500 nm que se refleja en los materiales, pudiendo así reconocer, por ejemplo, distintos tipos de plásticos.
- Cámaras de color: Se analiza el control de cada objeto en base a su perfil RGB (Rojo, Verde y Azul en inglés), pudiendo distinguir materiales por transparencia u opacidad. Se utiliza principalmente para plásticos y vidrios de color. Debido al principio de trabajo, para el negro se requieren sistemas especiales.
- Espectroscopía de láser: Mediante un láser de alta energía se crea un plasma en la superficie de un objeto, el cual emana una luz efímera que es analizada por el equipo, reconociendo residuos por su forma física.
- Inteligencia artificial: Mediante el uso de cámaras y el aprendizaje automático se distinguen los residuos, analizando las imágenes con parámetros visuales como forma, tamaño, color, textura, etc. apoyándose en bases de datos ya establecidas y redes funcionales profundas. Son capaces de reconocer objetos mucho más complejos y en estados más difíciles, como al presentar mucha suciedad.

En equipos de alta gama, generalmente se presenta una combinación de las tecnologías mencionadas anteriormente. Además, hay versiones especiales para papeles y film, con una construcción cerrada que mantiene el material en la cinta mediante una corriente de aire.

Separación robótica

En conjunto con el reconocimiento visual basado en inteligencia artificial, se han desarrollado equipos que operan con brazos robóticos capaces de extraer objetos seleccionados en tiempo real. Funcionan de manera análoga a como lo haría una persona, pero con una rapidez y efectividad significativamente mayor. Sin embargo, su uso se reserva para objetos específicos y situaciones en las que los separadores ópticos convencionales no sean eficaces, ya que aún no alcanzan la misma eficiencia.

Otros equipos y sistemas relevantes

Embaladoras: Para la disposición final de los productos de la planta de separación se utilizan equipos de compactación o embalaje, los comprimen los materiales en grandes fardos que facilitan su transporte y almacenamiento.

Trituración, molienda y granulación: Para facilitar el tratamiento y separación de los residuos, se utilizan distintos equipos reductores de tamaños. En algunos casos se requieren dimensiones pequeñas específicas, para lo cual se utilizan granuladores. Para materiales abrasivos como el vidrio se utilizan máquinas especiales como molinos de martillos.

Desetiquetadores: Se utilizan para eliminar las etiquetas presentes en envases. Hay de tipo mecánico, que usan un tambor rotatorio con aspas que desgastan los sellos, y por lavado, en los que se utiliza agua o vapor para debilitar los adhesivos. Son más comunes en plantas de reciclaje que de separación.

Abridores de bolsa: Debido a que las bolsas al romperse pueden dañar equipos, atascándose entre engranajes y partes giratorias, se utilizan máquinas con cuchillas rotativas o cilindros dentados para romperlas y separarlas de la corriente principal.

Alimentadores: Para poder controlar la alimentación a la planta, se usan equipos especiales que proveen una carga constante a las cintas transportadoras

Otras tecnologías aplicables al resto de los residuos prioritarios

La mayoría de las tecnologías explicadas anteriormente son aplicables a otros residuos y materiales. A continuación, se nombran las principales procesos modernos aplicados a los otros residuos prioritarios. En el D.2 se encuentran descripciones para cada uno.

Neumáticos: Molinos criogénicos.

Aceites Lubricantes: Filtración, centrifugación, adsorción, destilación y precipitación química.

Aparatos Eléctricos y Electrónicos: Desmontaje mecánico.

Baterías y Pilas: Descarga eléctrica, separadores hidrometalúrgicos y pirometalurgia.

4.3 Objetivo 3: Propuestas de diseño de planta de separación de residuos prioritarios REP para el Gran Concepción

Límites de batería, suposiciones y consideraciones

En base a los casos a trabajar especificados en la Tabla 4.10 y la Tabla 4.11, se proponen dos plantas distintas. A continuación, se describen los límites de batería y las suposiciones consideradas para cada caso.

Caso corto plazo

- Se recibirán principalmente residuos No Domiciliarios, junto a una parte menor de origen Domiciliario por medio de puntos limpios y/o verdes. Esto en la práctica sería mediante la presta de servicio de gestión a empresas de la región y tratos con gestores de residuos.
- Todos los envases deberán estar lavados, secados y sin tapas para ser recibidos. Los cartones y papeles deben estar relativamente limpios y sin humedad.
- Cada tipo de material debe estar preclasificado de la siguiente manera: vidrio translúcido; vidrio de color; cartón corrugado sin cintas ni corchetes; otros cartones y papeles; cartón para bebidas; metales (aluminio y hojalata); plásticos rígidos (PET, HDPE y PP) y film LDPE.
- Los procesos no se realizan de manera continua, motivo por el cual se considera una alimentación mensual en vez de por hora. Esto debido a la baja cantidad de material a tratar e intentando mantener equipos para futuras ampliaciones del proceso, incluido las del caso a largo plazo. El flujo mensual es calculado a partir de valores por hora, utilizados para cotizar las máquinas.
- Se consideran dos turnos diarios de trabajo, solo en días hábiles. De esta forma, teniendo en cuenta feriados y fines de semana, se toman en cuenta: 16 horas diarias; 22 días al mes; 12 meses al año.
- La cantidad especificada es la capacidad máxima de producción de la planta, con los equipos operando durante cada hora de trabajo.
- Los productos de la planta serán: vidrio translúcido; vidrio de color; cartón corrugado; papel y otros cartones; cartón para bebidas; latas de aluminio; hojalata; PET translúcido; PET de color; PP, HDPE y film LDPE.
- Todo el material separado es embalado, con excepción del vidrio que se comercia en maxisacos.

Caso largo plazo

- Se supone como una reinversión sobre el caso a corto plazo, aumentando la producción a uno de los tres valores establecidos en la Tabla 4.11. Para esto se consideran residuos domiciliarios como el principal origen. Esto dada la expectativa en el crecimiento de iniciativas de recolección domiciliaria seleccionada, como la de ReSimple,
- Para el diseño C se requiere una cantidad de material mayor al MNVB, por lo que se necesitaría aumentar el alcance de la recolección a residuos que ya están siendo gestionados o expandir zona considerada a regiones vecinas, como Ñuble o La Araucanía.
- La planta se separa en dos procesos efectivos, la alimentación principal y el vidrio. Esto debido a que el vidrio es recolectado de manera aparte al resto de EyE.
- El proceso es de flujo continuo y constantemente alimentado, con el material siendo transportado en cintas transportadoras.
- La recepción de residuos No Domiciliarios deja de exigir la separación en origen, a excepción del vidrio, ya que una vez llegado a la planta se mezclan con los materiales provenientes de hogares, los cuales no se encuentran preclasificados.
- Los residuos se reciben lavados y secados, tal como en el caso anterior y como pide ReSimple en su campaña de recolección
- Los residuos son alimentados en formato granel, es decir, directo desde camiones y no en bolsas. Para esto se necesita una máquina cargadora.
- Los productos y horas de trabajo son los mismos que en caso anterior, junto al embalaje de todo el material con la excepción del vidrio, que se comercia en maxisacos.

Diseños de planta propios

Caso corto plazo

En base a lo especificado anteriormente, se diseña el siguiente proceso para una planta a corto plazo, con capacidad máxima de 757 toneladas por mes o 2,15 toneladas por hora.

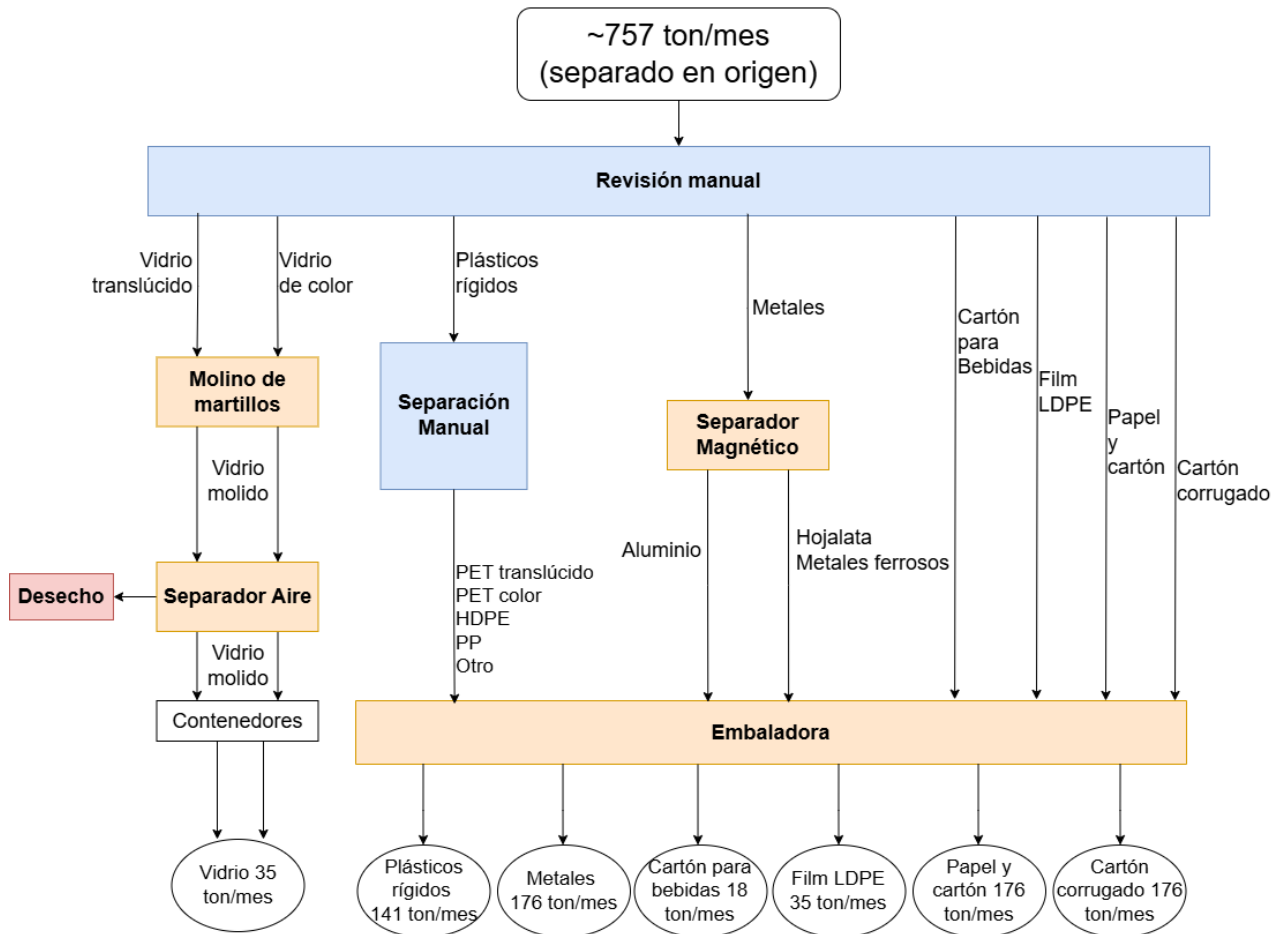


Figura 4.1 Diseño para planta a corto plazo, 757 ton/mes.

Como se puede apreciar en la Figura 4.1, todos los residuos que entran a la planta pasan por una revisión manual, con la cual se examina el estado de los residuos, se apartan objetos que no correspondan y se prepara a cada grupo para el objeto correspondiente.

Tras la revisión manual, el vidrio, tanto el translúcido como el de color, pero por separado, se alimenta a un molino de martillos, con el fin de reducir su tamaño a 25 mm y despegar los distintos materiales presentes, como, por ejemplo, papel aluminio o corcho. Luego se ingresa a un separador por aire, para así eliminar los otros elementos recién mencionados. Finalmente, el vidrio es guardado en maxisacos, listo para su venta. Los otros componentes son descartados.

Por otro lado, tras la etapa de inspección inicial, los plásticos son clasificados de manera manual en PET translúcido y de color, PP y HDPE. Esta labor es realizada por entre dos y seis personas por turno, dependiendo del flujo. Las cuatro fracciones son luego embaladas.

De forma análoga, los envases metálicos son apartados entre aluminio y ferrosos mediante un separador magnético, el cual se dispone sobre un mesón. Ambos productos son luego embalados.

Los envases tipo Tetra Pak, el cartón, el papel y el film LDPE son solamente inspeccionados y preparados de manera manual para luego ser embalados.

Caso largo plazo

A continuación, se muestra el diagrama de flujo para la planta de separación de residuos de EyE a largo plazo, considerando flujos totales de 5,7, 12,3 y 24,5 toneladas por hora. La figura corresponde al diseño de mayor tamaño, pero el proceso es el mismo para las tres escalas (anexo C.1 para otros).

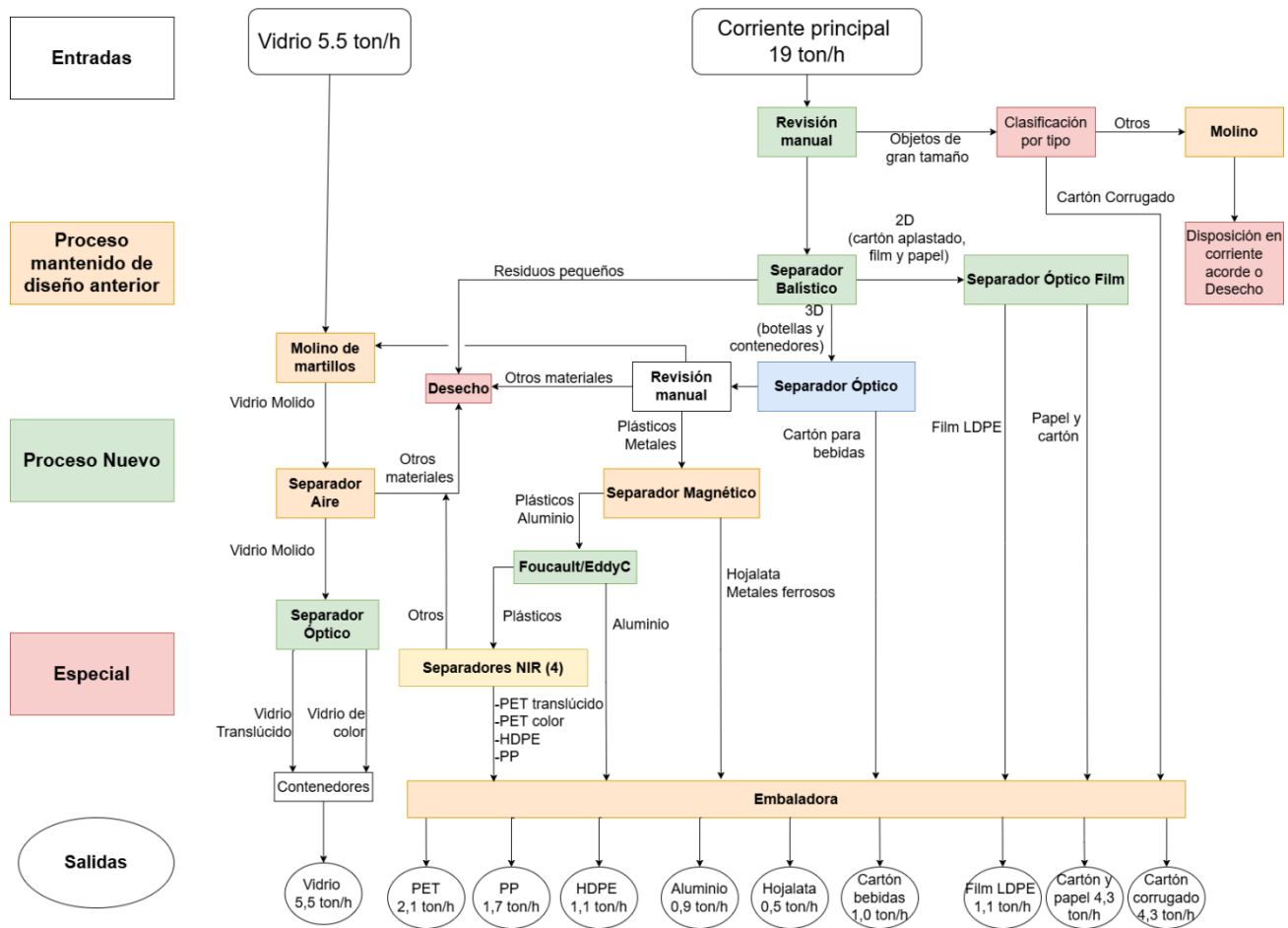


Figura 4.2 Diseño de Planta para Largo Plazo, 25 ton/h.

La principal diferencia con el diseño anterior es la alimentación conjunta de todos los residuos, con excepción del vidrio, el cual pasa por el mismo tratamiento que antes, pero con la distinción de la aplicación de un separador óptico para aparatar el cristal translúcido y de color. La razón siendo que ambas fracciones ingresan mezcladas. Además, como se puede ver según la leyenda a la izquierda, hay algunos procesos mantenidos del diseño anterior.

Para el resto de los residuos, tras una revisión manual en la que se aparatan elementos que no

correspondan o que sean de muy gran tamaño que puedan obstruir el proceso, se alimenta la corriente principal a un separador balístico. Mientras tanto los objetos apartados son reducidos en tamaño de ser necesario y dispuestos en la corriente o acopio apropiado.

Del separador balístico se obtienen tres corrientes. La primera es de residuos de tamaño pequeño, correspondiente principalmente a papeles, suciedad y pequeños plásticos, los cuales son desechados. El segundo grupo creado es de objetos bidimensionales (2D) o planares, tales como, papeles, cartones y film plástico, todo alimentado luego a un separador óptico para aparta el LDPE. Los tres materiales son luego embalados.

La tercera corriente corresponde a residuos tridimensionales (3D) o rodantes, tales como, botellas y envases plásticos, latas de aluminio y hojalata u otros elementos. De este conjunto se extraen los envases tipo Tetra Pak empleando un separador óptico, metales ferrosos mediante un separador magnético y latas de aluminio usando un separador de Foucault. Finalmente, empleando separadores NIR (cuatro en total), se clasifican los plásticos restantes en PET translúcido y de color, HDPE y PP. Todos estos materiales son luego embalados. Otros elementos presentes son desechados tras la última selección óptica.

Diseños propuestos por fabricantes

Además de los dos diseños de plantas propuestas, se trata con fabricantes de plantas completas. Para esto se solicita trabajar con los flujos de 5,5, 12,3 y 24,5 ton/h. Cada compañía entrega un plan distinto, pero con el mismo objetivo, suposiciones y límites de batería que para el caso a largo plazo, con excepción de que no serían desarrollados sobre el proceso de corto plazo. En el C.2 se encuentran descripciones más detalladas de cada planta, junto a sus planos.

Por medio de la plataforma Alibaba se contactan 3 fabricantes, quienes entregaron soluciones para el flujo de 12,3 ton/h. Zhengzhou Yuxi propone un sistema simple, basado en una alimentación que se tritura, se separa en un separador balístico y finalmente cada fase es clasificada por equipos robóticos. La de Baoding Baonan comienza con un separador balístico, seguido por separación por aire para cada salida, junto con separadores magnéticos y de Foucault para los tridimensionales. La tercera, Henan Hongzi, parte con un trómel, seguido por separadores magnéticos y de aire, para finalizar con clasificación manual. Finalmente, AMP Sortation, de Estados Unidos, ofrece una solución para 24,5 ton/h de última tecnología, basado en inteligencia artificial y separación óptica, con casi nula participación humana. Es operada por ellos, cobrando una tarifa de operación de 75 dólares por tonelada, pero cubriendo todos los gastos de operación y de mantenimiento.

4.4 Objetivo 4: Evaluación técnico-económica

Costos de inversión

En la tabla a continuación, se muestran los costos de compra y de inversión, calculado con la ecuación 8, para las distintas plantas de diseño propio, catalogadas por caso, y de fabricantes. Para las tres plantas de empresas de China, se ajusta el valor al flujo de 12,3 toneladas por hora, mediante la ecuación 9, para poder ser así comparable al caso largo plazo B. Además, para los casos de largo plazo se considera el costo de tanto la inversión inicial, como la de la reinversión en el quinto año. En el F.1 se encuentran los costos detallados por equipo, para los diseños propios.

Tabla 4.12 Costos de compra e inversión para las distintas plantas.

Planta	Capacidad (ton/año)	Costo de Compra (USD)	Costo de Inversión (USD)
Corto Plazo	9.084	\$69.906	\$174.765
Largo Plazo A	21.965	\$1.526.422	\$3.816.055
Largo Plazo B	48.154	\$2.195.768	\$5.489.420
Zhengzhou Yuxi	48.154	\$1.090.619	\$3.087.139
Baoding Baonan	48.154	\$154.666	\$386.664
Henan Hongzhi	48.154	\$209.159	\$1.008.149
Largo Plazo C	95.040	\$3.427.263	\$8.048.233
AMP Sortation	95.040	-	\$30.000.000

Como se puede apreciar, las plantas ofrecidas por fabricantes son de menor costo, con excepción de la de AMP Sortation, cuyo costo de inversión cotizado es de casi seis veces el del diseño propio de mismo flujo. Esto se explica por la simplicidad de los diseños por las empresas de origen chino, en cuanto a cantidad de procesos se refiere, junto al inherente menor precio de los equipos. Mientras tanto, lo ofrecido por AMP es de mayor complejidad y cantidad de equipos, además de emplear tecnologías más caras, como la inteligencia artificial.

Precios de venta de los productos

Tras investigar sobre precios de comercialización del material a separar en las fuentes que se explicaron en la metodología para la actividad 4.3, se encuentra que los mayores precios son los entregados por ANIR, a excepción del aluminio, la hojalata y el PET, pero sin indicar una fuente de ello. Por otro lado, el mercado estadounidense da un mejor precio para hojalata, cartones, papeles y vidrios, pero uno peor para los plásticos, que las empresas chilenas consultadas

Finalmente se opta por utilizar los valores de compradores chilenos, priorizando Recicladores

Industriales y Recipet, ya que con ellos se hizo contacto directo, mientras que para Reciclean simplemente se consultó en su sitio web (Reciclean, 2024), por lo que no hubo intercambio de información ni especificación de las potenciales cantidades. En el anexo F.2 se encuentra el detalle de los precios, sumado al cálculo de los promedios usados para el flujo de caja, mostrados a continuación:

Tabla 4.13 Precios promedio de venta.

<i>Caso</i>	<i>Corto plazo</i>	<i>Largo plazo y plantas de fabricantes</i>
<i>Precio promedio (USD/ton)</i>	\$125,9	\$170,9

Como se puede apreciar, el precio promedio es mayor para el caso largo plazo.

Suposiciones

Para construir los flujos de caja se deben considerar múltiples gastos y costos. Para simplificar este proceso, ya que no es posible desarrollar el proyecto en detalle con la información disponible, se realizaron las siguientes suposiciones:

- Se utilizó la equivalencia $1 \text{ USD} = 1.000 \text{ CLP}$.
- El costo de transporte se simplificó considerando el envío de todo el material producido a Santiago, en camiones de diez toneladas, con un consumo de 2,3 km/L y precio de petróleo de 953 CLP/L (Lira, 2024) Esto en la práctica esto no sería así, con gran parte de los residuos separados siendo probablemente vendidos en la región (como Recicladores Industriales), además de usarse camiones de mayor capacidad. Sin embargo, con este excedente se cubre también el gasto en la recepción de los residuos por parte de gestores (como ReSimple) y otros gastos asociados, como renta de vehículos o pago a empresa de transporte.
- Como precio de la electricidad se utiliza el de \$42 CLP kW/hora. En el anexo F.3 se encuentra el consumo de los equipos para cada diseño.
- El gasto del agua se calcula en base el artículo 12 del Decreto Supremo N° 594 que estipula una cantidad mínima de 100L por trabajador al día. Junto a esto, se considera un precio de \$1,5 CLP/L. La cantidad de empleados, junto a los salarios, se encuentra detallada en el anexo F.4.
- El terreno está ubicado en Coronel, en base a la distribución de la generación de residuos en la región (anexo F.5). y de dimensiones 155m por 65m. El área requerida se basa en comparaciones con plantas similares. El precio de referencia es de \$1.340.000 USD (Re-Chile, 2024).
- Se considera una vida útil de 20 años para los equipos, basado en conversaciones con fabricantes.

- Todos los costos de obras, incluyendo construcción, ingeniería y mano de obra están incluidos en el costo de instalación de los equipos, ya que la mayoría son de montaje sencillo, por lo que el factor es una sobre estimación, según lo conversado con vendedores.

Flujos de caja

En consideración de lo anterior, se construyeron los flujos de caja para cada diseño. En el F.6. se encuentra el detalle de cada uno. A continuación, se muestran los resultados de los parámetros TIR y VAN calculados a partir de ello, junto al año de recuperación, separados por capacidad. El caso de corto plazo se separó en uno optimista, cumpliendo con el flujo de diseño desde el inicio, y uno pesimista, partiendo desde un 40% del máximo, incrementando en un 10% cada año, hasta llegar al 100%. Para los de largo plazo esto no aplica, ya que las plantas correspondientes tienen una baja flexibilidad al ser de flujo continuo.

Tabla 4.14 Resultados de los Flujos de Caja para los distintos casos y diseños.

Planta	TIR	VAN (USD)	Año de recuperación
Casos corto plazo, capacidad de 9.084 toneladas al año			
Pesimista	21%	\$875.573	6
Optimista	37%	\$1.714.771	4
Caso largo plazo A, capacidad de 21.954 toneladas al año			
Diseño propio A	42%	\$4.101.328	7
Caso largo plazo B, capacidad de 48.154 toneladas al año			
Diseño propio B	53%	\$9.782.387	6
Zhengzhou Yuxi	133%	\$27.791.830	1
Baoding Baonan	266%	\$39.690.845	1
Henan Hongzhi	163%	\$17.936.433	1
Caso largo plazo C, capacidad de 95.040 toneladas al año			
Diseño propio C	67%	\$20.620.127	6
AMP Sorting	14%	\$4.670.227	9

Como se puede apreciar en la Tabla 4.14, todos los casos son viables, incluyendo el caso pesimista, requiriendo solo 2 años más que el optimista para recuperar la inversión. Los diseños de fabricantes chinos dan grandes valores de VAN y TIR, debido al bajo costo de inversión que requiere. Por otro lado, para los diseños propios, a mayor inversión y capacidad, mayor retorno de inversión. Esto se da porque la cantidad de material producido aumenta en mayor proporción que el costo de inversión. Finalmente, la planta de AMP también es viable, pero da la menor cantidad de TIR y un VAN menor a su contraparte de mismo flujo, explicado por el alto costo y la tarifa de operación.

Sensibilidades

Con el fin de evaluar que variables son las más significativas económicamente, se calcularon las sensibilidades, del TIR y el VAN respecto al precio de venta, la cantidad de material, la cantidad de selectores realizando triaje manual y el costo de los equipos, mostradas a continuación:

Tabla 4.15 Sensibilidades relativas del TIR (absoluta para selectores manuales)..

Diseño	Precio de Venta ($\Delta+1\%$)	Cantidad de material ($\Delta+1\%$)	Selectores manuales ($\Delta+1$)	Costo Equipos ($\Delta+1\%$)
Corto Plazo	+1%	+0,60%	-0,50%	-0,06%
Largo Plazo A	+0,78%	+0,60%	-0,25%	-0,32%
Largo Plazo B	+0,76%	+0,60%	-0,25%	-0,18%
Largo Plazo C	+0,76%	+0,60%	-0,25%	-0,20%

Tabla 4.16 Sensibilidades relativas del VAN (absoluta para selectores manuales).

Diseño	Precio de Venta ($\Delta+1\%$)	Cantidad de material ($\Delta+1\%$)	Selectores manuales ($\Delta+1$)	Costo Equipos ($\Delta+1\%$)
Corto Plazo	+\$51.742	+\$42.643	-\$30.807	-\$1.438
Largo Plazo A	+\$96.979	+\$82.939	-30.807	-\$43.447
Largo Plazo B	+\$173.289	+\$149.363	-\$30.807	-\$31.589
Largo Plazo C	+\$313.407	+\$271.331	-\$30.807	-\$47.321

Como se puede apreciar en ambas tablas, el precio de venta es lo que más afecta a ambos indicadores, ya que, por cada variación de 1% de este, el TIR varía un 1% en el corto plazo y 0,76% para el largo plazo, mientras que el VAN cambia desde \$51.742 USD para el largo plazo, hasta \$313.407 USD para el largo plazo C, incrementándose de manera proporcional al tamaño de la planta. Esto sumado a que el precio, junto al costo de equipos, es la variable que más pudiese cambiar (tanto como un 50%), significa que es muy influyente en el proyecto.

Por otro lado, si bien la cantidad de material presenta la segunda mayor sensibilidad relativa, esta variable sólo puede cambiar en un 10% para los casos largo plazo (a menos que se alteren las horas de trabajo), por lo que no es tan influyente, a excepción del corto plazo. Mientras tanto, el costo de los equipos al ser muy variable sí afecta más. Finalmente, el aumentar la cantidad de selectores tiene poco efecto, disminuyendo el TIR en solo un 0,25% a 0,50% y el VAN, proporcional a su salario.

5. Conclusiones

A partir de lo expuesto anteriormente, se obtienen las siguientes conclusiones:

Sobre el análisis de la generación de residuos en la región del Biobío, se concluye que los datos encontrados en RETC presentan errores y difieren en otros datos con otras fuentes en importante medida, por lo que requieren revisión y un mayor control en el ingreso de información. Esto es aún más problemático para el caso de los RAEE, donde no se tiene ningún nivel de concordancia con otras fuentes, indicando ordenes de magnitud distintos, por lo que son necesarios estudios específicos al respecto. Por otro lado, para el caso de envases y embalajes, se estima una generación de casi cien mil toneladas anuales en la región del Biobío. Con esta última cantidad, se proponen dos casos distintos, con cuatro flujos totales, los cuales son todos realistas al ser comparados con casos reales, Ambipar Ecofibras para el corto plazo y plantas construidas por fabricantes, según lo informado por ellos mismos, para el largo plazo.

En cuanto al estado del arte de las tecnologías de separación aplicables a residuos de la Ley REP, se concluye que hay una amplia gama de alternativas disponibles, con fabricantes con interés o ya involucrados en el mercado chileno.

De los diseños de planta, a corto plazo, se propone una planta de menor alcance, apoyada en los sistemas de gestión existentes, como los puntos limpios y verdes, junto con la gestión de residuos para empresas, ya que estos pueden implementarse rápidamente. A largo plazo, se requiere acceso a la recolección domiciliar clasificada, realizada por ReSimple u otro gestor, para asegurar el volumen necesario de material en los flujos de diseño. En particular, para el diseño de largo plazo C, con una capacidad anual de 103.488 toneladas, es fundamental ampliar la recolección, dado que supera el Material No Valorizado Biobío estimado, aunque aún se encuentra dentro de la generación total de la región, siendo una alternativa potencial el incluir residuos de Ñuble o La Araucanía. También se debe evaluar la viabilidad de las plantas de Zhengzhou Yuxi, Baoding Baonan y Henan Hongzhi, ya que presentan diseños más simples y económicos en comparación con los propios o los de AMP, pero declarando una eficiencia equivalente a los diseños propios. Por otro lado, la planta propuesta por AMP requiere la mayor inversión, con un costo de \$30.000.000 USD y una tarifa operativa de \$75 USD por tonelada producida, pero incluye operación completa, mantenimiento y repuestos, por lo que se debe considerar estos beneficios frente a su elevado costo.

Todos los diseños de planta estudiados resultan factibles, incluyendo el caso corto caso pesimista. Además, para los diseños propios, se encuentra que, a mayor inversión, aumentan los

indicadores TIR y VAN, lo que sugiere que el costo de inversión aumenta en menor proporción que los ingresos. Por otro lado, las plantas ofrecidas por Zhengzhou Yuxi, Baoding Baonan y Henan Hongzhi son las de mayor rentabilidad, mientras que la de AMP la de menor. Todo esto se ve afectado en mayor parte por el precio de venta del producto, considerando la alta variabilidad de este respecto a los compradores encontrados y las fracciones de residuos, además de presentar la mayor sensibilidad relativa entre los parámetros estudiados. Los valores de comercio pueden ser distintos dependiendo del comprador, siendo el aluminio y el PET translúcido los materiales con mayor potencial económico. La cantidad de material es la segunda variable más sensible, pero no es tan influyente debido a la baja flexibilidad operativa de las plantas de diseño de largo plazo, a diferencia del corto de equipos e inversión, que, a pesar de ser el parámetro estudiado de menor sensibilidad, es de alta influencia debido a su alta variabilidad. Por último, la cantidad de selectores manuales es de bajo impacto, por lo que se puede considerar aumentar la cantidad.

Finalmente, se considera como el mayor desafío a la obtención de los residuos, junto a la claridad de la composición y el financiamiento de la posible inversión.

Recomendaciones

Se recomienda realizar un estudio más profundo del material disponible, tomando muestras y midiendo la suciedad, humedad, entre otros. Lo anterior para tener mayor claridad en la composición de las corrientes y así poder hacer diseños finales detallados para los equipos complejos, como separadores ópticos y balístico.

Se recomienda estudiar en profundidad todos los costos asociados al posible proyecto, dado que para este trabajo se realizaron aproximaciones. Esto incluye, costos de ingeniería y mano de obra, trata de los residuos con gestores, gastos detallados en transporte, entre otros.

Se estudiar las ventajas y desventajas de las distintas alternativas de equipos, considerando la calidad y el precio. Incluyendo tanto las alternativas en cuanto a equipos y máquinas individuales, comparando distintos fabricantes, como las plantas completas ofrecidas por empresas, corroborando su eficiencia y fiabilidad a largo plazo, requiriendo pruebas en terreno y/o en fábrica.

6. Referencias

Aguirre, F. (11 de Noviembre de 2024). Entrevista a Ecofibras.

Banco Mundial. (2024). Obtenido de Grupo Banco Mundial:
<https://datos.bancomundial.org/pais/chile>

Borwnie, J. (Octubre de 2024). Recauchaje. Extender la Vida Útil de un Neumático es Posible. *Congreso Ley REP NFU*. Concepción: CINC, ARNEC.

Decreto Supremo N°8 (2016). *Establece normas complementarias para la gestión de residuos*. Ministerio del Medio Ambiente.

Decreto Supremo N°12 (2021). *Establece metas de recolección y valorización y otras obligaciones asociadas de Envases y Embalajes*. Ministerio del Medio Ambiente.

Decreto Supremo N°47 (2024). *Establece metas de recolección y valorización y otras obligaciones asociadas de Aceites Lubricantes*. Ministerio del Medio Ambiente.

E2BIZ. (2019). *Antecedentes para la elaboración de análisis económico de metas de recolección y valorización para el productor prioritario "Aparatos Eléctricos y Electrónicos" contenidos en la Ley REP*. 2019: Ministerio del Medio Ambiente.

Fundación Chile (2020). *HACIA UN ENFOQUE CIRCULAR:: Residuos-E*. Obtenido de fch.cl/iniciativa/residuos-e

Godoy, C. (1 de Diciembre de 2024). Entrevista ReSimple.

Kusch, A., Gasde, J., Deregowski, C., & Woidasky, J. (2021). *Sorting and Recycling of Lightweight Packaging in Germany — Climate Impacts and Options for Increasing Circularity Using Tracer-Based-Sorting*. Pforzheim: Springer.

Kyklos. (2023). *Estudio del Material Disponible País (MDP) y el reciclado de las Baterías Fuera de Uso (BFU) en Chile*. ANIR.

Kyklos. (2023). *Estudio del Material Disponible País (MDP) y el reciclado de lo Neumáticos Fuera de Uso(NFU)enChile*. ANIR.

Kyklos. (2023). *Estudio del Material Disponible País (MDP) y el reciclado de los Envases y Embalajes de Aluminio en Chile*. ANIR.

Kyklos. (2023). *Estudio del Material Disponible País (MDP) y el reciclado de los Envases y*

- Embalajes de Hojalata en Chile. ANIR.*
- Kyklos. (2023). *Estudio del Material Disponible País (MDP) y el reciclado de los Envases y Embalajes de Vidrio en Chile. ANIR.*
- Kyklos. (2023). *Estudio del Material Disponible País (MDP) y el reciclado de los Envases y Embalajes de Cartón para Bebidas en Chile. ANIR.*
- Kyklos. (2023). *Estudio del Material Disponible País (MDP) y el reciclado de los Envases y Embalajes de Papel y Cartón en Chile. ANIR.*
- Kyklos. (2023). *Estudio del Material Disponible País (MDP) y el reciclado de los Aceites Lubricantes Usados (ALU) recuperables en Chile. ANIR.*
- Kyklos. (2023). *Estudio del Material Disponible País (MDP) y el reciclado de los Envases y Embalajes de PE en Chile. ANIR.*
- Kyklos. (2024). *Estudio del Material Disponible País (MDP) y el reciclado de los Envases y Embalajes de PET en Chile. ANIR.*
- Kyklos (2023). *Estudio del Material Disponible País (MDP) y el reciclado de los Envases y Embalajes de PP en Chile. ANIR.*
- Leal, S. A. (2021). *Prediseño del proceso de selección y clasificación de envases plásticos ligeros con la implementación de tecnología del Internet de las Cosas (IoT).* Sevilla: Dep. Ingeniería Química y Ambiental Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla.
- Ley 20.920 (2016). *Ley sobre Gestión de Residuos, Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento al Reciclaje.* Chile: Diario Oficial.
- Lira, G. (13 de noviembre de 2024). *Precio de la bencina: El valor de los combustibles en Chile en 2024.* Obtenido de autofact: <https://www.autofact.cl/blog/noticias/autofact/precio-bencina>
- NÚCLEO BIOTECNOLOGÍA CURAUMA, P. U. (2019). *Estudio de Factibilidad Del Funcionamiento de Tecnologías que procesen Residuos Sólidos Domiciliarios, Asimilables y Otros".* Valparaíso: Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo.
- ONU. (2024). *Organización de las Naciones Unidas.* Obtenido de Datos y cifras: <https://www.un.org/es/actnow/facts-and-figures#:~:text=Cada%20a%C3%B1o%20se%20recolecta%20en,de%20gases%20de%20efecto%20invernadero>
- Otarola, R. (Octubre de 2024). Seminario Ley REP. *Congreso Ley REP NFU.* Concepción:

Universidad Católica de la Santísima Concepción.

- Paredes, D. (11 de Noviembre de 2024). Entrevista TriCiclos.
- Pereda, I., & Silva, N. (2023). *Resumen Plan de Gestión, Residuos de envases y embalajes domiciliarios*. ReSimple.
- Peters, M. S., & Timmerhaus, K. D. (2002). *Plant design and economics for chemical engineers (5th ed.)*. McGraw-Hill Professional.
- Phillips, A. (20 de 02 de 2021). La historia de la humanidad contada a través de la basura . *La Vanguardia*.
- Plástico, C. E. (2021). *Infraestructura para el Reciclaje: Envases y Embalajes Plásticos*. InvestChile Insights.
- Re-Chile. (Agosto de 2024). *Industrial En Venta En Coronel*. Obtenido de Portal Inmobiliario: https://www.portalinmobiliario.com/MLC-2647361132-industrial-en-venta-en-coronel-_JM#seller_profile
- Reciclean. (2024). *Lista de Precios*. Obtenido de Reciclean: <https://reciclean.cl/>
- Steer. (2020). *Actualización de Modelo de Costos de Transporte de Carga para el Análisis de Costos Logísticos, del Observatorio Logístico*. Subsecretaría de Transportes.
- SUBDERE. (2024). *Diagnóstico y Catastro Regional de Residuos Sólidos Domiciliarios Región del Biobío*. División de Desarrollo Regional, Departamento Gestión de Inversiones Regionales.
- Towler, G., & Sinnott, G. (2008). *Chemical Engineering Design*. San Diiego: BH.
- Villar, I. (Octubre de 2024). P´rtimodades y desafíos para la región del Biobío 2024. *Congreso Ley REP NFU*. Concepción: Valora+.
- Vivanco, E. (2023). *Residuos. Conceptos, datos de residuos generados y regulación nacional* . Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.

7. Anexo

7.1 Anexo A

Actores definidos por la Ley REP

En la ley REP se establecen distintos actores, los cuales tienen distintas incidencias dependiendo de su importancia. Estos son:

- **Productores:** el responsable de integrar el producto prioritario en el mercado nacional. Son a quienes regula la ley.
- **Sistemas de gestión:** instituciones sin fines de lucro para tratar los residuos, para que los productores cumplan con las obligaciones.
- **Gestores de Residuos:** quienes operan el manejo de residuos. Pueden ser personas naturales o jurídicas.
- **Consumidores:** generadores de residuos a partir de productos prioritarios.
- **Consumidores Industriales:** todo establecimiento de carácter industrial que genere residuos de un producto prioritario, de acuerdo con la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones
- **Municipios:** Actor con la facultad de celebrar convenios entre sistemas de gestión y recicladores base.
- **Ministerio del Medio Ambiente:** establece las metas de recolección y valorización de residuos prioritarios mediante Decretos Supremos.
- **Superintendencia del Medio Ambiente:** fiscaliza el cumplimiento de la ley por los distintos actores e impone sanciones en base a ella.

Jerarquía en el manejo de residuos

Para la Ley REP, el manejo de residuos tiene procesos preferibles a otros, basado en su concepción como recurso. Es por esto por lo que, deben de ser, en primera instancia, considerados como materia prima o fuente de energía. La jerarquía del manejo de residuos es la siguiente, de más preferible a menos preferible:

1. **Prevención:** la acción más deseable en cuanto a los residuos prioritarios es la de directamente prevenir su producción. Es decir, se promueve disminuir la generación de estos por parte de los productores, mediante optimización de procesos, cambios en los diseños, mejora de calidad, etc.
2. **Preparación para la reutilización:** Al recolectar residuos, en primera instancia se debe buscar el limpiar, reparar y/o reacondicionar estos, con el fin de ser reutilizados, siendo así reincorporados al ciclo económico.
3. **Reciclaje:** Se busca mediante la separación, limpieza y procesamiento de materiales, transformar residuos en nuevos productos. Es menos favorable, ya que presenta un mayor costo de realización.
4. **Valorización energética:** se pueden aprovechar las capacidades calóricas y energéticas de los residuos mediante distintos procesos. Generalmente es menos favorable que las opciones anteriores debido a su menor eficiencia.
5. **Eliminación:** Como opción menos deseable se tiene el destruir o suprimir los residuos, ya que esto presenta un gasto económico y energético sin ningún otro beneficio más que deshacerse del residuo.

Metas

Neumáticos

Tabla 7.1 Metas de neumáticos a recolectar bajo la Ley REP.

Toneladas a recolectar	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Cat. A	64.900	72.500	74.300	121.900	124.900	128.100	131.300	151.400
Cat. B	9.300	10.300	10.600	10.900	33.400	34.300	35.100	48.000
Total	74.200	82.800	84.900	132.800	158.300	162.400	166.400	199.400

Tabla 7.2 Metas de neumáticos a valorizar bajo la Ley REP.

Toneladas a valorizar	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Cat. A	32.400	43.500	52.000	91.400	93.700	128.100	147.700	151.400
Cat. B	9.300	10.300	10.600	10.900	33.400	34.300	35.100	48.000
Total	41.700	53.800	62.600	102.300	127.100	162.400	182.800	199.400

Envases y Embalajes

Tabla 7.3 Metas de recolección y valorización de residuos domiciliarios bajo la Ley REP.

Años	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12+
Cartón para líquidos	5%	8%	11%	15%	19%	23%	27%	31%	36%	40%	50%	60%
Metal	6%	9%	12%	15%	17%	21%	25%	29%	32%	36%	45%	50%
Cartón y papel	5%	9%	14%	18%	23%	28%	34%	39%	45%	50%	60%	70%
Plásticos	3%	6%	8%	11%	14%	17%	20%	23%	27%	30%	37%	45%
Vidrio	11%	15%	19%	22%	26%	31%	37%	42%	47%	52%	58%	65%

Tabla 7.4 Metas de recolección y valorización de residuos domiciliarios bajo la Ley REP.

Año	Metal	Papel y cartón	Plástico
1	23%	48%	13%
2	32%	54%	19%
3	42%	60%	25%
4	51%	65%	32%
5	61%	71%	38%
6	64%	74%	42%
7	66%	78%	46%
8	68%	81%	51%
9+	70%	85%	55%

Aceites Lubricantes

Tabla 7.5 Metas de recolección y valorización de aceites lubricantes recuperables bajo la Ley REP.

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10+
Meta	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	84%	87%	90%

Aparatos eléctricos, electrónicos y pilas

Tabla 7.6 Metas de recolección y valorización de pilas y aparatos eléctricos y electrónicos bajo la Ley REP.

Plazo	Pilas y aparatos eléctricos y electrónicos	Aparatos de intercambio de temperatura
Año 1	3%	Sin meta
Año 2	5%	Sin meta
Año 3	8%	6%
Año 4	12%	9%
Año 5	16%	13%
Año 6	20%	17%
Año 7	24%	21%
Año 8	30%	25%
Año 9	37%	30%
Desde año 10	45%	30%

Tabla 7.7 Metas de recolección por porcentaje de las viviendas del país.

<i>Plazo</i>	<i>Porcentaje de las viviendas del país</i>
<i>Año 1</i>	<i>10%</i>
<i>Año 2</i>	<i>30%</i>
<i>Año 3</i>	<i>50%</i>
<i>Año 4</i>	<i>70%</i>
<i>Año 5</i>	<i>80%</i>

Sistemas de gestión de neumáticos en la región

A continuación, se explican los principales sistemas de tratamiento y valorización de neumáticos en la región del Biobío.

Recauchaje

El recauchaje de neumáticos consiste en el remplazo de la banda de rodamiento desgastada por una nueva, siendo replicable las veces que lo permita la carcasa al estar todavía en condiciones suficientes. Si bien el recauchaje, en estricto rigor, no cuenta como un sistema de valorización de residuos, ya que, lo que hace es alargar la vida útil de neumáticos desgastados, esto si significa como un proceso de preparación para la reutilización. En Chile, uno de cada cinco neumáticos nuevos de camiones y buses es recauchados. Esta cifra podría ser mucho mayor, por lo que hay bastante espacio de mejora en este aspecto.

Reciclaje

Como se mencionó anteriormente, en la región del BioBío hay dos plantas de trituración de neumáticos. Estas utilizan el material extraíble de estos, principalmente caucho, acero y algo de textil, para ser vendido a empresas de reciclaje. Una de estas entidades es RECBIO, quienes elaboran gránulo de caucho y venden al por mayor. De este bien, es que se pueden fabricar una amplia gama de productos, entre los cuales se incluyen: pisos y canchas deportivas; artículos y elementos de vialidad; solerillas; juegos infantiles; discos de gimnasio; maceteros; etc.

Pirólisis

La pirólisis es un proceso de degradación térmica en ausencia de oxígeno, el cual se realiza aplicando calor a los neumáticos en un reactor especial. A continuación, se muestra un esquema del proceso:

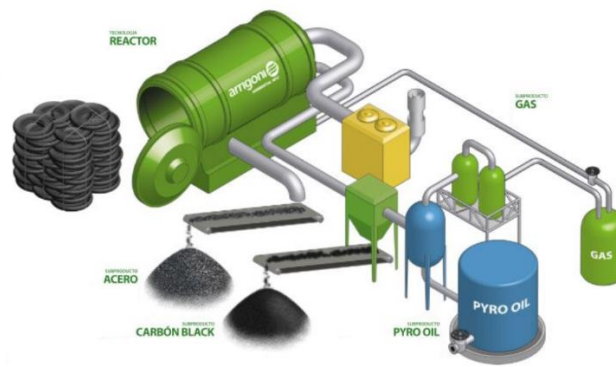


Figura 7.1 Esquema del proceso de pirólisis de neumáticos (Grupo Arrigoni, 2020).

De este proceso, se obtienen cuatro subproductos:

- Acero: Al final del proceso, queda una porción de acero residual dentro del reactor, la cual puede ser recuperado y procesado por plantas dedicadas al reciclaje de este metal. Empresas del Grupo Arrigoni por ejemplo, buscarán emplearlo en la construcción de estructuras para la industria minera.
- Carbón black: El otro elemento sólido que queda en el reactor corresponde al carbón black, el cual puede ser reutilizado en diferentes formas, tales como, combustible, aditivos asfálticos, pigmento, carcasas, refuerzos en otros neumáticos, etc.
- Gas: Durante el proceso se produce gas, el cual consta de una parte condensable y otra no condensable. La no condensable es realimentada al reactor como combustible y para el final del procedimiento se consume todo, por lo que no hay gas residual.
- Pyro oil: La parte condensable del gas generado en el proceso queda como un combustible líquido, de características parecidas al Diesel, el cual puede ser empleado como reemplazo en a otros combustibles industriales.

En la región del BioBío existe actualmente solo una planta de pirólisis, la cual es manejada por la empresa Energía Circular. Tiene dos reactores y una capacidad total de pirólisis de 20 toneladas de neumáticos al día.

Metas de campaña de Recolección Domiciliaria de ReSimple

Tabla 7.8 Proyecciones de obertura de viviendas con recolección selectiva a nivel país. ReSimple.

ITEM	2023	2024	2025	2026	2027
Cobertura vivienda en RM	524.303	922.598	1.200.026	1.534.252	1.880.051
Cobertura viviendas en regiones	132.157	353.568	869.668	1.314.895	1.802.664
Cobertura de viviendas totales	656.459	1.276.166	2.069.694	2.849.147	3.682.715
% de cobertura recolección selectiva	10%	20%	32%	44%	57%
% de cobertura Art, 36 DS 12	10%	20%	30%	40%	45%

7.2 Anexo B

Factores de instalación

Tabla 7.9 Factores de Instalación Propuestos por Hand (1958) (Towler, 2008).

Equipo	Factor de Instalación
Compresor	2,5
Columna de destilación	4
Calderas	2
Intercambiadores de calor	3,5
Instrumentos	4
Equipo misceláneo	2,5
Equipos presurizados	4
Bombas	4

7.3 Anexo C

Cantidades de residuos generados a nivel nacional

Neumáticos

Tabla 7.10 Cantidades de NFU generados (RECT, 2023).

<i>Método</i>	<i>CINC</i>	<i>GESCAM</i>	<i>Permisos de circulación</i>	<i>Importaciones</i>	<i>RETC</i>
<i>Cantidad (toneladas)</i>	178.647	173.776	141.801	219.344	179.733

Envases y Embalajes (RETC)⁴

Tabla 7.11 Cantidades de residuos de EyE generados (RECT, 2023).

<i>Tipo (toneladas)</i>	<i>Domiciliarios</i>	<i>No Domiciliarios</i>	<i>Total</i>
<i>EyE Cartón y Papel</i>	641.945	827.745	1.469.690
<i>EyE Plástico</i>	4.951.610	827.745	5.835.121
<i>EyE Metal</i>	300.637	781.632	1.082.268
<i>EyE Madera</i>	529.226	736.856	1.266.083
<i>EyE Vidrio</i>	1.343.343	-	1.343.343
<i>EyE Cartón Bebidas</i>	24.448	-	24.448

Aceites Lubricantes

Tabla 7.12 Cantidades de residuos de Aceites Lubricantes generados (RECT, 2023).

<i>Método</i>	<i>Análisis sectorizado</i>	<i>GESCAM</i>	<i>Importaciones y Exportaciones</i>	<i>ECOBAUS</i>	<i>RETC</i>	<i>GIZ (2020)</i>
<i>Cantidad (toneladas)</i>	134.692	136.167	111.370	142.488	175.118	93.867

⁴ Los datos a nivel nacional de ANIR se encuentran en la siguiente sección, bajo el nombre de Material Disponible País.

Baterías

Tabla 7.13 Cantidades de BFU generados (RECT, 2023).

<i>Método</i>	<i>Importaciones y exportaciones, peso</i>	<i>GESCAM</i>	<i>RETC</i>	<i>GIZ (2020)</i>
<i>Cantidad (toneladas)</i>	33.404	44.526	35.341	39.486

Pilas

Tabla 7.14 Cantidades de residuos de Pilas generados, por tipo (RECT, 2023).

<i>Tipo</i>	<i>Cantidad (toneladas)</i>
<i>Acumuladores</i>	124
<i>Botón</i>	7
<i>Estándar</i>	14.735
<i>Otros</i>	4
<i>Total</i>	14.871

Material Disponible País, Material Gestionado País y Material No Valorizado País

Tabla 7.15 MDP, MGP y MNVP (ANIR, 2023)

<i>Tipo (2022)</i>	<i>Material Disponible País</i>	<i>Material Gestionado País</i>	<i>Material No Valorizado País</i>
<i>Vidrio</i>	451.376	148.752	302.624
<i>Cartón y Papel</i>	856.061	409.080	446.981
<i>Cartón para Bebidas</i>	25.800	647	25.153
<i>Aluminio</i>	49.658	10.557	39.101
<i>Hojalata</i>	58.213	34.556	23.657
<i>PET</i>	118.205	22.014	96.101
<i>PE</i>	150.751	49.689	101.062
<i>PP</i>	97.902	18.836	79.067
<i>Total</i>	1.807.966	694.131	1.113.746

7.4 Anexo D

Imágenes y diagramas de referencia de tecnologías de separación de envases y embalajes



Figura 7.2 Trómel de Criba de marca Stadler.

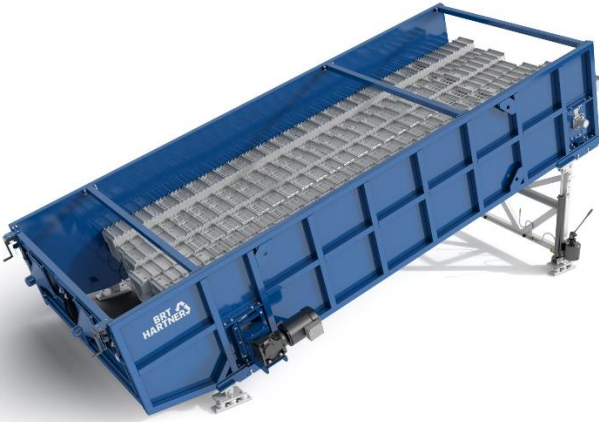


Figura 7.3 Separador Balístico de marca Stadler.

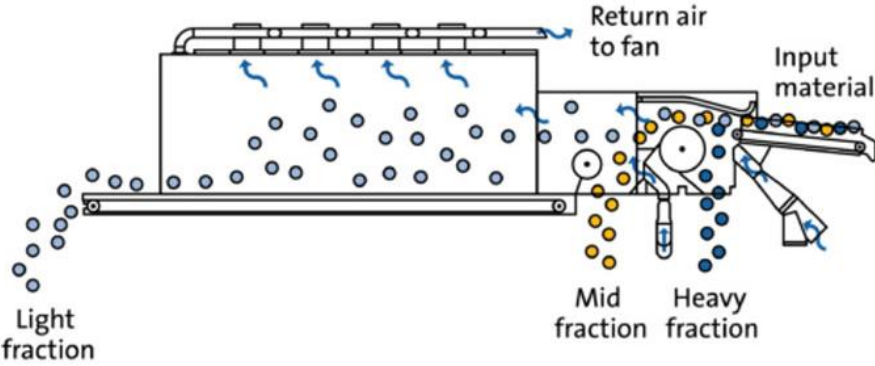


Figura 7.4 Diagrama del funcionamiento de un separador de aire.



Figura 7.5 Estanque de flotación de Rotajet Recycling.

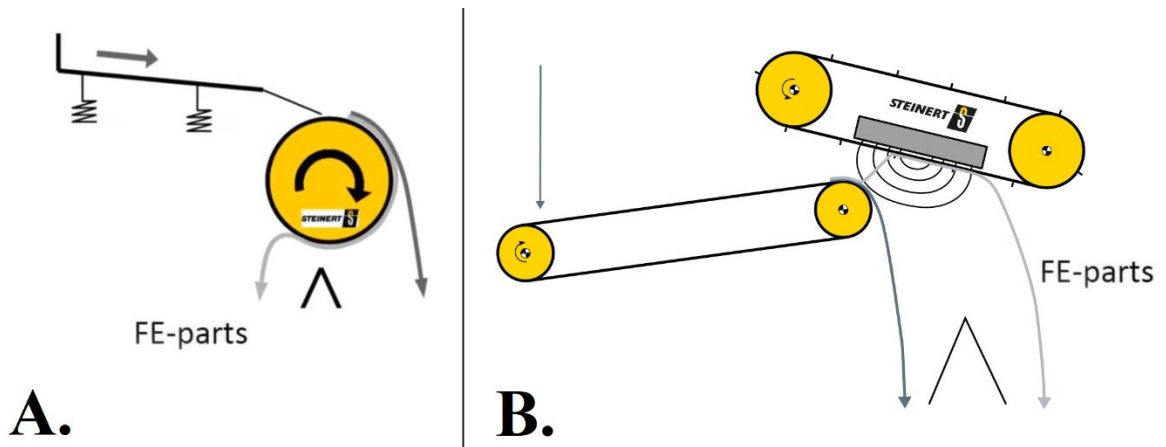


Figura 7.6 A. Separador magnético de tambor. B. Separador magnético de banda. (Steinert).

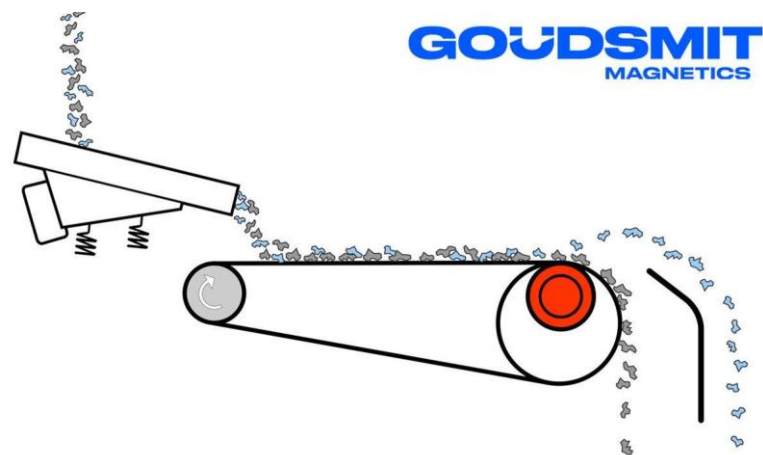


Figura 7.7 Separador Eddy Current o de Foucault (Goudsmit).



Figura 7.8 Hidrapulping (Tetra Pak).

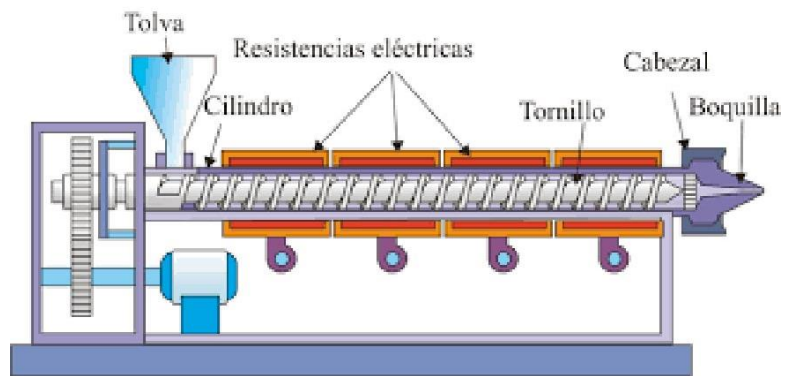


Figura 7.9 Diagrama de extrusora típica (Interempresas).

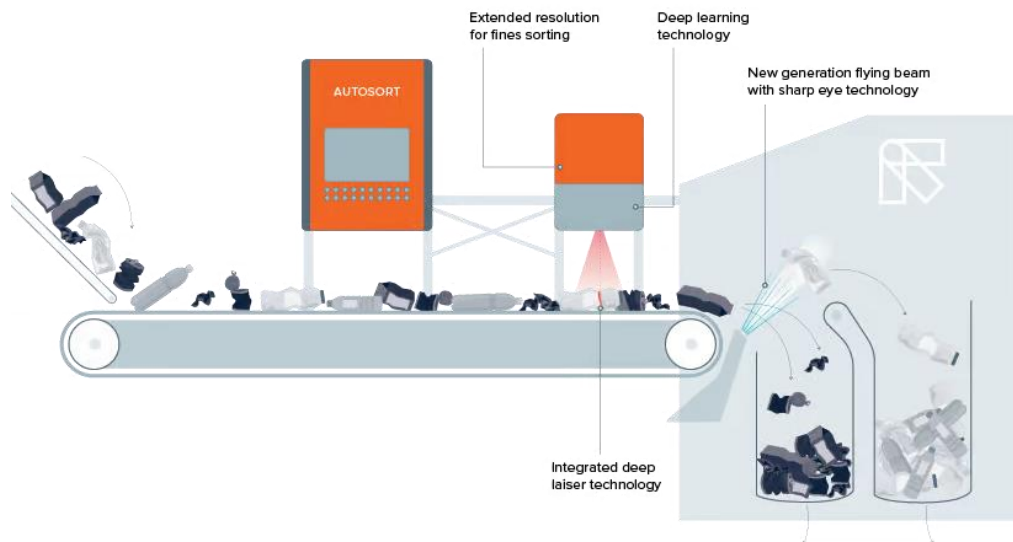
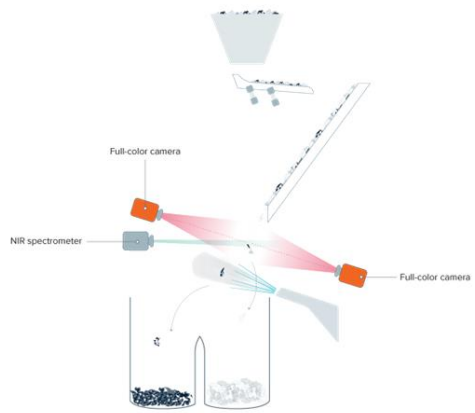


Figura 7.10 Diagrama del Separador Óptico AUTOSORT (TOMRA).

A.



B.

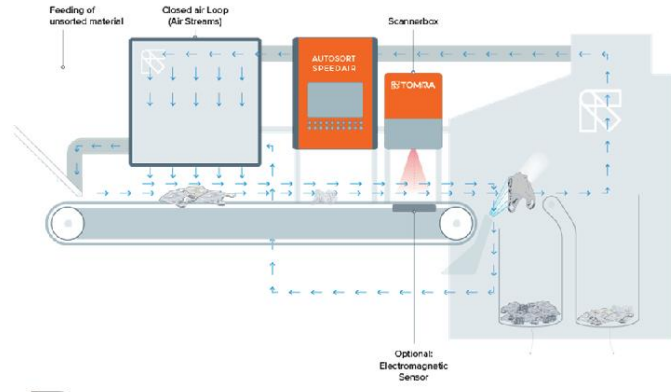


Figura 7.11 A. INNOSORT FLAKE. B. AUTOSORT SPEEDAIR (TOMRA).

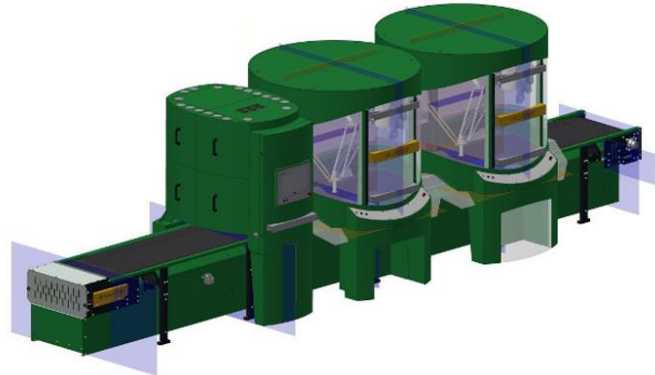


Figura 7.12 Separador Robótico RoBB (Bollegraaf).



Figura 7.13 Embaladora horizontal (Bollegraaf HBC).



Figura 7.14 Granulador (Rapid).

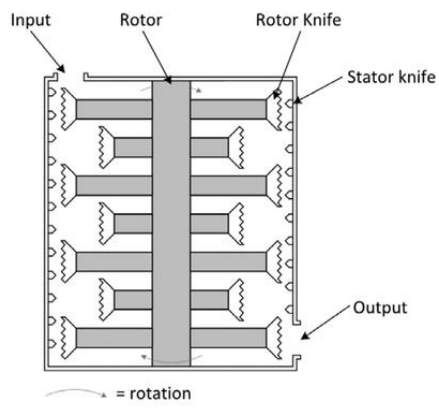


Figura 7.15 Desetiquetadora (Stadler).

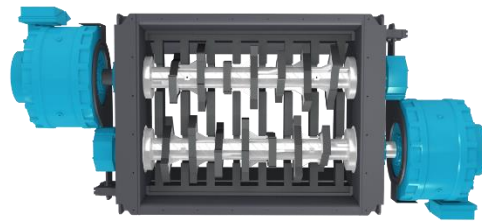


Figura 7.16 Molino (Vecoplan).



Figura 7.17 Alimentador (Bollegraaf).

Descripción de tecnologías aplicables a otros residuos prioritarios

Neumáticos

- **Molinos criogénicos:** Debido a que el caucho es un material blando, flexible y elástico, la molienda normal resulta más compleja que con otros materiales. Es por esto por lo que, se realiza un proceso de enfriamiento con nitrógeno líquido o dióxido de carbono hasta temperaturas menores a -80°C , para aumentar su fragilidad. De esta forma se puede pulverizar de fácilmente.

Aceites Lubricantes

- **Filtración:** Se retiran partículas sólidas suspendidas en el aceite utilizando un medio filtrante, tales como, mallas o tejidos especiales. El fluido atraviesa el filtro, mientras que los sólidos quedan retenidos.
- **Centrifugación:** en equipos rotatorios de alta rapidez, se aprovecha la fuerza centrífuga para separar líquidos por densidad. Al hacer girar los fluidos, los componentes de mayor densidad se desplazan hacia el exterior.
- **Adsorción:** Se utilizan materiales sólidos con grandes áreas superficiales, tales como, carbón activado, arcilla o zeolitas, a los cuales se adsorben los contaminantes, es decir, se adhieren a su superficie.
- **Destilación:** Se calienta el aceite de forma controlada, de esta forma se separan los compuestos volátiles mediante su evaporación.
- **Precipitación química:** Mediante al adición de reactivos al aceite, se forman compuestos insolubles que precipitan, para luego ser retirados desde el fondo del recipiente. De esta forma, se pueden separar contaminantes de extracción compleja.

Aparatos eléctricos y electrónicos

- **Desmontaje mecánico:** De forma similar a los separadores robóticos empleados explicados para envases y embalajes, se emplean equipos programados para desensamblar partes de los aparatos eléctricos y electrónicos de manera automática, mediante el uso de la inteligencia artificial.

Baterías y pilas

- **Descarga eléctrica:** Se eliminan cargas residuales presentes en BFU mediante resistencias, conectadas directamente a la batería, o sumergiéndolas en soluciones conductoras controladas.
- **Separadores hidrometalúrgicos:** mediante soluciones químicas se recuperan metales de interés

en las baterías. Para esto se aplica un proceso de lixiviación, el cual consta de sumergir las baterías trituradas en ácido sulfúrico, disolviendo los metales y formando soluciones de litio y cobalto. Luego se realiza una precipitación química, tal como se explicó en el proceso para aceites lubricantes, se añaden agentes químicos que hacen precipitar los metales. Finalmente se purifican los metales disueltos mediante solventes orgánicos o intercambios iónicos.

- **Pirometalurgia:** Es un proceso en el que se funden las baterías trituradas, bajo temperaturas de entre 1.000 y 1.500 °C, separando los metales como níquel, cobalto y plomo gracias a los diferentes puntos de fusión. Esto genera aleaciones de los metales, mientras que el plástico y el aluminio se quema. Estas aleaciones son luego refinadas y así se recuperan los metales de manera individual. Es un proceso que emite gases tóxicos, por lo que se requiere de sistemas de captura de gases.

7.5 Anexo E

Diagramas de flujo para 5,7 ton/h y 12,3 ton/h

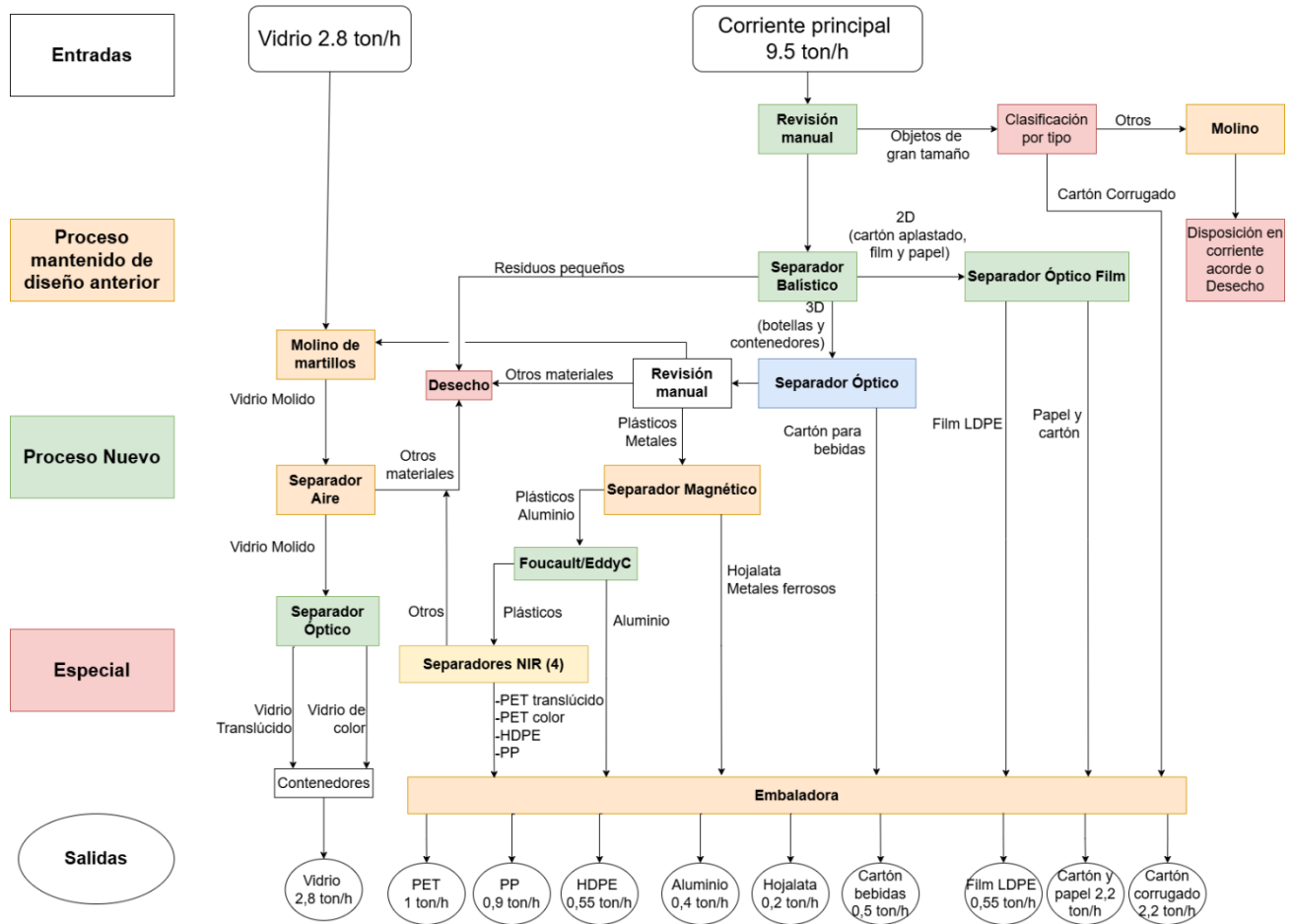


Figura 7.18 Diagrama de planta largo plazo de diseño propio, 12,3 ton/h.

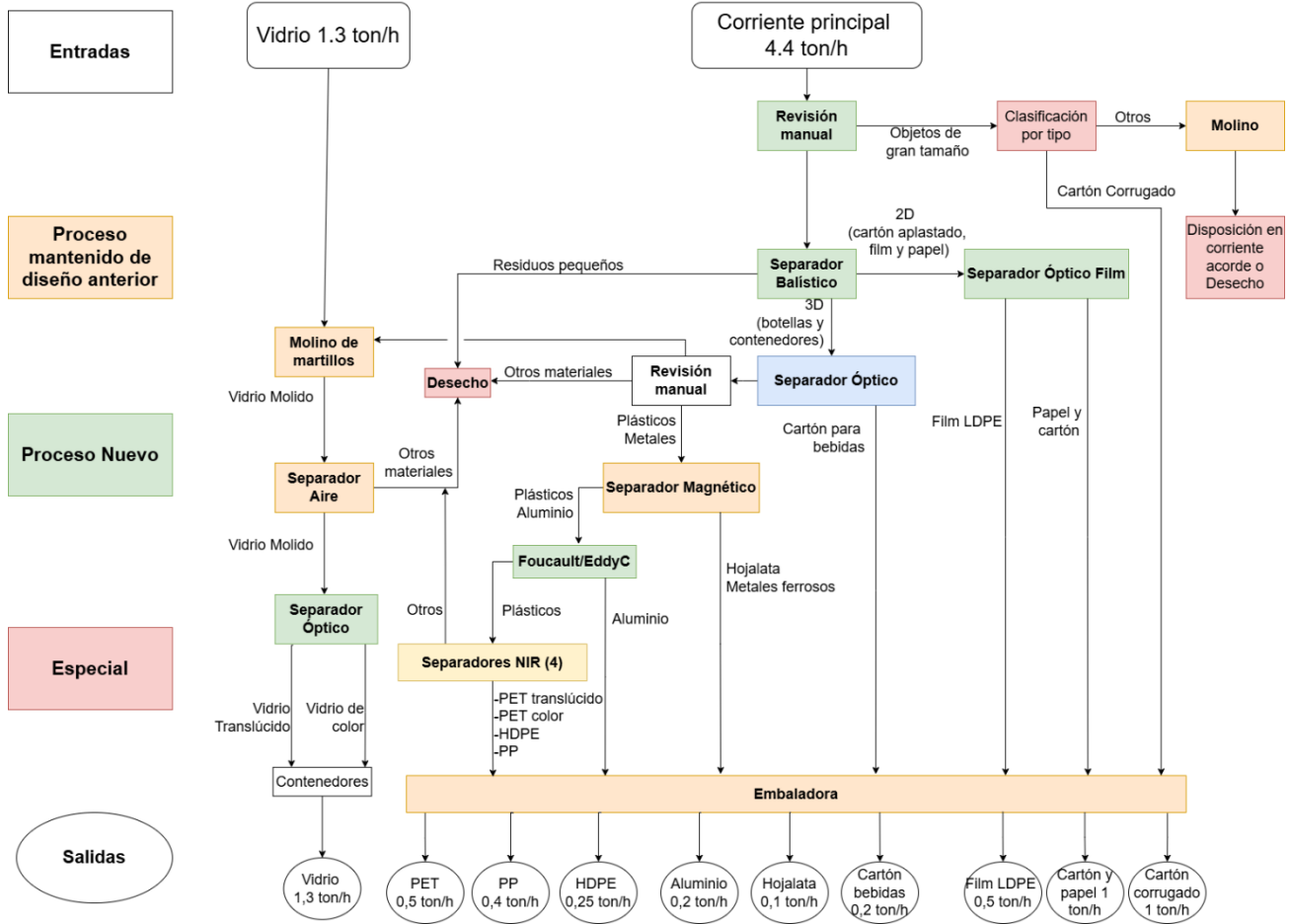


Figura 7.19 Diagrama de planta largo plazo de diseño propio, 5,7 ton/h.

Diseños de planta ofrecidos por fabricantes

Zhengzhou Yuxi Machinery Equipment

Empresa de origen chino, contactada a través de la plataforma Alibaba. Luego de varias conversaciones y entrega de información, presentaron el siguiente diseño, para un flujo de 12,3 toneladas por hora.



Figura 7.20 *Planta propuesta por Zhengzhou Yuxi Machinery Equipment, 12,3 ton/h.*

Como se ve en el plano, la propuesta de Zhengzhou Yuxi es bastante simple, en cuanto a la cantidad de procesos se refiere. Todo el material se dispone en una cinta transportadora, haciéndolo pasar por una trituradora y luego un separador balístico. Las partículas pequeñas son desechadas, mientras que las salidas 2D y 3D son luego clasificadas por robots guiados por inteligencia artificial, pasando antes por un separador magnético para apartar metales ferrosos. Para el vidrio se tiene un sistema de molienda y separación con aire, apreciable en la parte superior de la imagen, pero no se incluye una organización por color. También se considera una embaladora, ubicada a la derecha en el esquema.

Baoding Baonan Machinery And Equipment Manufacturing

También de origen chino y contactado por medio de Alibaba, ofrecieron un diseño para 12,3 toneladas por hora, mostrado a continuación:

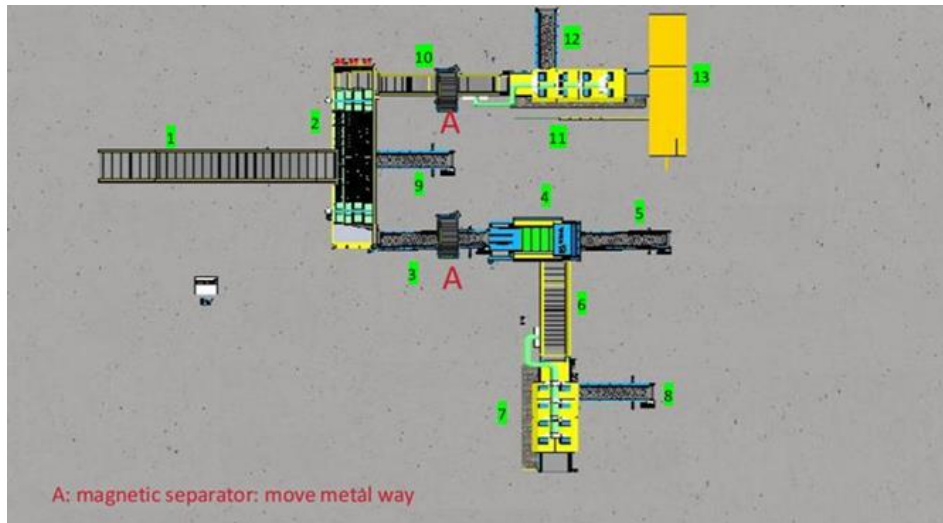


Figura 7.21 Planta propuesta por Baoding Baonan Machinery And Equipment Manufacturing, 12,3 ton/h.

El proceso propuesto por Baoding Baonan comienza con un separador balístico (2 en el plano). Posteriormente, tanto a la corriente de materiales rodantes como a la de planares se les extraen los metales ferrosos mediante separadores magnéticos (marcados con una A). En los residuos tridimensionales, las latas de aluminio se apartan utilizando un separador de Foucault (4). Finalmente, ambas fracciones pasan por separadores de aire (7 y 11), obteniéndose film LDPE y cartones y papeles, por un lado, y plásticos y vidrio por el otro. No se incluye una clasificación más detallada para el cartón corrugado ni para los distintos tipos de polímeros, por lo que esta etapa tendría que realizarse manualmente o aceptarse un menor grado de separación. Se incluye también una embaladora (13).

Para el vidrio ofrecen un molino de martillos y un separador óptico, obteniendo una fracción translúcida y otra de color. Estos equipos no están representados en el esquema.

Henan Hongzhi Machinery Manufacturing

Henan Hongzhi presentó un diseño para 100 toneladas por día, pero considerando solo un turno de ocho horas, por lo que en la práctica trabajaría con 12,5 toneladas por hora, lo que es perfectamente aplicable al caso de 12,3 toneladas por hora. A continuación, se muestra la propuesta:

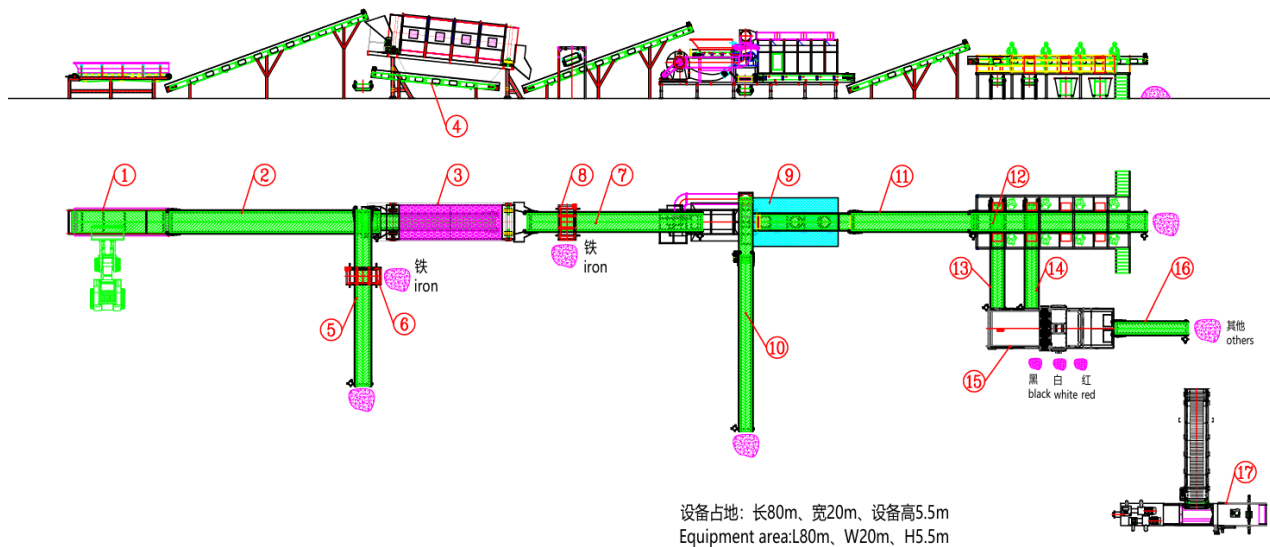


Figura 7.22 Planta propuesta por Henan Hongzhi Machinery Manufacturing, 12,5 ton/h.

En la diagrama se puede apreciar tanto una vista lateral y una vista superior. El diseño propuesto incluye un alimentador (1) hacia las cintas transportadoras, seguido por un trómel de criba (3), del cual se remueven las partículas pequeñas por una banda inferior (4). Para tanto dicha salida como para la de objetos grandes (7), se les extraen los metales ferrosos mediante separadores magnéticos (6 y 8). La corriente principal luego es ingresada a un separador por aire (9), extrayendo elementos pesados como el vidrio. Finalmente, todos los materiales restantes son clasificados manualmente en una estación para ocho personas (12), sumado a un separador óptico para diferenciar PET de color y translúcido. Se incluye una embaladora, mas no un sistema para el vidrio.

AMP Sortation Solutions

Otra empresa con la que se hizo contacto fue AMP, que tienen un enfoque en la inteligencia artificial. Previamente empleaban equipos robóticos en la mayoría de sus plantas, pero actualmente han cambiado el enfoque a separadores tipo ópticos, ya que logran mayor rapidez y eficiencia. El flujo de 24,5 toneladas por hora es el único con el que pueden trabajar, ya que, debido al alto costo de sus equipos, no es justificable para ningún cliente realizar un proyecto de menor alcance. Aparte del costo de inversión inicial, cobran una tarifa de operación, dependiente del tamaño de la planta. Para este caso es de 75 USD por tonelada de producto. A cambio de ello, AMP se encarga de todos los costos de instalación de sistemas, equipos, operación, mantenimiento, entrenamiento de personal, mejoras a la planta y optimización. De esta forma, el cliente solamente se debe hacer cargo del abastecimiento y retiro del material. Además, se encargan del monitoreo en tiempo real del proceso y aseguran una constante búsqueda de mejoras posibles para el proceso, junto a una flexibilidad dependiendo de

cambios en el material o producto deseado. A continuación, se muestra un plano tipo de la planta ofrecida.

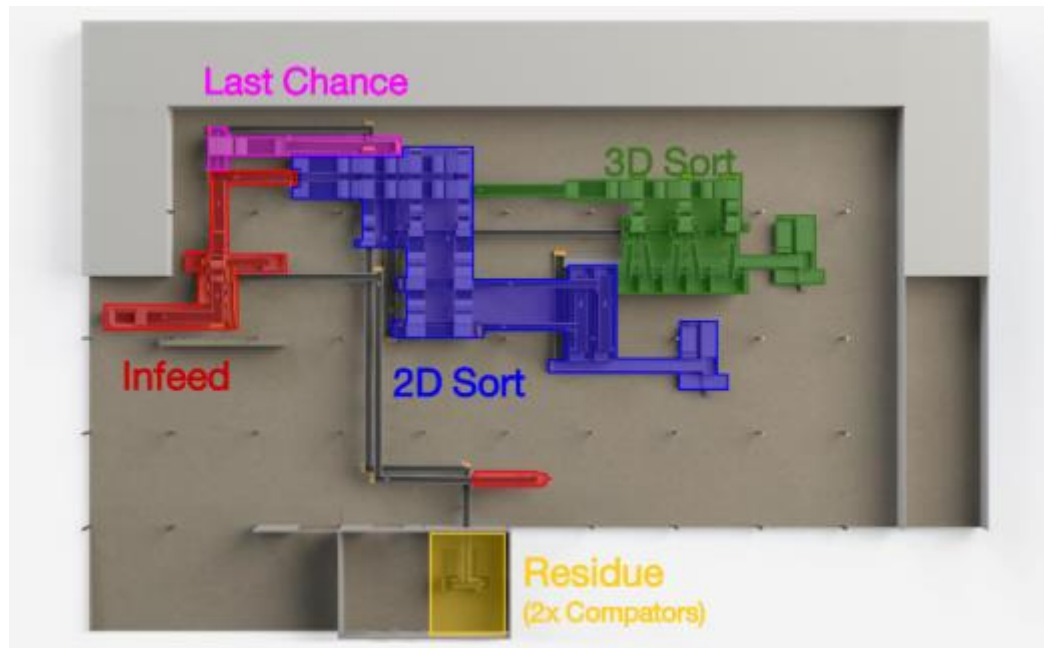


Figura 7.23 Plano de planta genérico, AMP.

Se muestra un plano de planta genérico, ya que la información en detalle entregada es confidencial. Sin embargo, aún así se puede apreciar el proceso en forma general. Todo el residuo es ingresado por un alimentador, que deposita el material en la cinta transportadora. La primera separación ocurre por un separador magnético de barril, seguido de una revisión manual. Este es el único punto donde inciden humanos en el proceso. Después, se extrae el vidrio mediante un filtro, para luego ser purificado en un separador de aire. Con un separador balístico se extraen las fases tridimensionales y bidimensionales. Ambas pasan por sistemas “en cascada” de separadores ópticos, con múltiples equipos por residuo. Finalmente se embala todo el material que así corresponda.

Stadler

También se hizo contacto con Stadler, una de las empresas líderes en construcción de plantas de separación de residuos, pero no lograron entregar el diseño y presupuesto a tiempo.

7.6 Anexo F

Costos de equipos

A continuación, se muestran los costos de cada equipo considerado en para los diseños de planta. Los valores estimados, utilizando la ecuación 9 y en base al mismo equipo para otro flujo, se encuentran marcados con un asterisco (*). Todo el resto fue cotizado o consultado de manera directa con fabricantes y vendedores. Los valores se encuentran en USD. Los equipos que sólo presenten una marca de fabricante, más no un modelo, es porque se consultó simplemente un precio estimado, ya que requieren más información.

Caso corto plazo

Tabla 7.16 Costos de equipos para planta caso corto plazo.

Proceso	Equipo	Costo de compra
Molino de martillos	Rapid	\$7.000
Molino de uso general	Rapid	\$10.000
Separador aire	WALAIR	\$10.000
Separador magnético	Goudsmith FOM	\$20.442
Embaladora	Bollegraaf HBC	\$22.464
	Total	\$69.906

Caso largo plazo

Tabla 7.17 Costos de equipos para planta caso largo plazo.

Proceso	Equipo	Costo de compra para A	Costo de compra para B	Costo de compra para C
Estación manual 1	Henan Hongzhi	\$13.043	\$13.043	\$13.043
Separador Balístico	Henan Mind BS	\$42.850	\$42.850	\$64.789*
Molino de uso general	Rapid	\$10.000	\$10.000	\$10.000
Separador óptico 1	TOMRA AUTOSORT	\$250.000	\$396.605*	\$620.000*
Separador óptico film	TOMRA SPEEDAIR	\$280.000	\$444.198*	\$671.634*
Estación manual 2	Baoding Baonan	\$11.000	\$11.000	\$11.000
Separador magnético	Goudsmith FOM	Mantenido del caso a corto plazo		
Separador de Foucault	Goudsmith EddyXpert	\$117.970	\$117.970	\$169.039*
Separadores ópticos plástico (3)	TOMRA AUTOSORT	\$557.143	\$850.353*	\$1.297.143*
Molino de martillos	Baoding Baonan HM100	\$19.100	\$19.100	\$28.278
Separador aire	Baoding Baonan AS	\$19.000	\$19.000	\$28.879
Separador óptico vidrio	Baoding Baonan TM1000	\$25.000	\$25.000	\$37.800
Cintas transportadoras	Henan Mind	\$111.410	\$176.743	\$267.238
Embaladora	Bollegraaf HBC	Mantenido del caso a corto plazo		
Total		\$1.456.516	\$2.125.862	\$3.279.293

Precios de venta

En la tabla a continuación se muestran los precios de venta de los productos. Los valores a usar se escogen dando preferencia a fuentes chilenas y el estudio de InvestChile, seguido por las empresas con las que se trató directamente, con excepción del PET, ya que solo informan sobre el precio del material mezclado entre color y translúcido. Estas cifras se encuentran en negrita.

Tabla 7.18 Precios de venta de materiales producidos.

<i>CLP\$/kg USD/ton</i>	<i>//</i>	<i>Reciclean</i>	<i>InvestChile</i>	<i>Recicladores Industriales</i>	<i>Recipet</i>	<i>SMP (LA- USA) USD</i>	<i>ANIR</i>
<i>Cartón</i>		\$10 *		\$90 *		\$40	\$70
<i>Mezcla Papel</i>		\$1				\$30	
<i>Vidrio trans</i>		\$10				\$31	\$60
<i>Vidrio color</i>		\$10				\$15	\$60
<i>PET revuelto</i>		\$90	\$266	\$530		\$276	\$450
<i>PET translúcido</i>		\$160			\$650	\$595	
<i>PET color</i>		\$135			\$300	\$276	
<i>HDPE</i>			\$220			\$163	\$300
<i>LDPE</i>		\$110	\$169	\$180		\$55	\$300
<i>PP</i>			\$220			\$88	\$300
<i>Aluminio</i>		\$450*		\$1.820*		\$1.819	\$1.100
<i>Lata</i>		\$50				\$165	\$150
<i>Cartón para bebidas</i>				\$5			\$70

El aluminio se encuentra con un asterisco y dos valores marcados, ya que el de Recicladores Industriales no es aceptado para el flujo de la planta a corto plazo por el comprador. Con esto se calculan los precios promedio, usando las fracciones de las tablas 10 y 11, y teniendo en consideración las suposiciones especificada, de la siguiente forma:

Caso Corto Plazo

$$\begin{aligned}
 P_{Prom_{CortoPlazo}} &= \left[35 * 10 + \frac{176}{2} * 10 + \frac{176}{2} * 1 + 18 * 5 + \frac{176}{2} * 50 + \frac{176}{2} * 50 + \frac{141}{3 * 2} * 650 \right. \\
 &\quad \left. + \frac{141}{3 * 2} * 300 + \frac{141}{3} * 220 + \frac{141}{3} * 220 + 35 * 180 \right] \div 757 = 125,9
 \end{aligned}$$

Caso Largo Plazo

$PProm_{LargoPlazo}$

$$= \left[0,25 * 10 + \frac{0,35}{2} * 90 + \frac{0,35}{2} * 1 + 0,04 * 5 + 0,04 * 5 + 0,035 * 1820 + 0,02 * 50 + \frac{0,085}{2} * 650 + \frac{0,085}{2} * 300 + \frac{0,09}{2} * 220 + 0,07 * 220 + \frac{0,09}{2} * 169 \right] \\ \div 0,92 = 170,9$$

Para Baoding Baonan y Henan Hongzhi

Debido a que las plantas de Baoding Baonan y Henan Hongzhi no son capaces de cumplir con el mismo grado de separación, se utiliza un valor único para los plásticos rígidos, estimado en \$220. De esta forma, el precio promedio de venta queda en \$132 para estos dos casos.

Consumos energéticos

A continuación, se muestran los consumos eléctricos por equipo, para cada diseño de planta, a excepción de la entregada por AMP, ya que ellos cubren el gasto asociado, por lo que el consumo no fue informado en esta etapa.

Caso corto plazo

Tabla 7.19 Consumo eléctrico de equipos de la planta caso corto plazo.

Proceso	Equipo	Consumo (kW)
Molino de martillos	Rapid	11
Molino de uso general	Rapid	15
Separador aire	WALAIR	15
Separador magnético	Goudsmith FOM	3
Embaladora	Bollegraaf HBC	26
	Total	70

Caso largo plazo

Tabla 7.20 Consumo energético de equipos para plantas largo plazo.

Proceso	Equipo	Consumo (kW)
Estación manual 1	Henan Hongzhi	4
Separador Balístico	Henan Mind BS	15
Molino de uso general	Rapid	9
Separador óptico 1	TOMRA AUTOSORT	7
Separador óptico film	TOMRA AUTOSORT SPEEDAIR	7
Estación manual 2	Baoding Baonan	3
Separador magnético	Goudsmith FOM	3
Separador de Foucault	Goudsmith EddyXpert	22,1
Separadores ópticos plásticos (3)	TOMRA AUTOSORT	28
Molino de martillos	Baoding Baonan HM100	14
Separador aire	Baoding Baonan AS	22
Separador óptico vidrio	Baoding Baonan TM1000	2,8
Cintas transportadoras	Henan Mind	40
Embaladora	Bollegraaf HBC	26
	Total	202,9

Planta Zhengzhou Yuxi Machinery Equipment

Tabla 7.21 Consumo eléctrico de equipos para la planta de Zhengzhou Yuxi.

Proceso	Consumo (kW)
Cintas transportadoras	64,9
Abridor de bolsas	11,5
Separador balístico	18,5
Separación robótica 1 (2)	14
Separación robótica 2 (2)	14
Separador magnético	3
Molino de martillos	75
Embaladora hidráulica	22
Embaladora de metales	15
Total	237,9

Baoding Baonan Machinery And Equipment

Tabla 7.22 Consumo eléctrico de equipos para la planta de Baoding Baonan.

Proceso	Consumo (kW)
Cintas transportadoras	34,5
Separador balístico	15
Separador de Foucault	13,7
Separador aire 1	22
Separador aire 2	15
Embaladora	30
Separador magnético	3
Total	133,2

Tabla 7.23 Consumo eléctrico de equipos para la planta de Henan Hongzhi.

Proceso	Consumo (kW)
Cintas transportadoras	35,2
Alimentador	5.5
Trómel de criba	11
Separador magnético 1	1.1
Separador magnético 2	3
Separador aire	35,2
Estación manual	4
Separador óptico	7
Embaladora	26
Total	128

Salarios

Diseños propios

A continuación, se muestran los salarios estimados por puesto de trabajo, la cantidad de cada uno y el gasto total, para las plantas de diseño propio. Al igual que con el consumo energético, este gasto viene cubierto en la tarifa de operación para la planta de AMP.

Tabla 7.24 Puestos de trabajo, cantidad de empleados y salarios de cada planta de diseño propio.

Empleados	Sueldo en CLP (mensual)	Caso corto plazo	Caso largo plazo diseño A	Caso largo plazo diseño B	Caso largo plazo diseño C
Selectores manuales	\$550.000	20	8	10	12
Operadores equipos	\$550.000	6	8	8	10
Operador maquinaria	\$600.000	1	2	2	3
Jefe de planta	\$2.000.000	1	1	1	1
Jefe de producción	\$1.500.000	1	1	1	1
Jefe de Turno	\$1.000.000	1	1	1	1
Recursos Humanos	\$900.000	1	1	1	1
Personal de limpieza	\$500.000	2	4	5	6
Administración	\$650.000	1	2	2	2
Seguridad	\$600.000	1	1	1	1
Total		35	29	32	38
Total (CLP/mes)	\$8.850.000	\$22.500.000	\$19.300,000	\$20.900.000	\$24.200.000
Total (CLP/año)	\$106.200.000	\$270.600.000	\$231.600.000	\$250.800.000	\$290.400.000
Total (USD/año)	\$108.923,1	\$277.539	\$237.538,5	\$257.230,8	\$297.846,2

Diseño de fabricantes

Tabla 7.25 Puestos de trabajo, cantidad de empleados y salarios de cada planta ofrecida por fabricantes (menos AMP Sortation).

Empleados	Sueldo en CLP (mensual)	Zhengzhou Yuxi	Baoding Baonan	Henan Hongzhi
Selectores manuales	\$550.000	0	0	8
Operadores equipos	\$550.000	4	4	4
Operador maquinaria	\$600.000	2	2	2
Jefe de planta	\$2.000.000	1	1	1
Jefe de producción	\$1.500.000	1	1	1
Jefe de Turno	\$1.000.000	1	1	1
Recursos Humanos	\$900.000	1	1	1
Personal de limpieza	\$500.000	4	4	4
Administración	\$650.000	2	2	2
Seguridad	\$600.000	1	1	1
Total		17	17	25
Total (CLP/mes)	\$8.850.000	\$12.700.000	\$19.300.000	\$17.100.000
Total (CLP/año)	\$106.200.000	\$152.400.000	\$231.600.000	\$205.200.000
Total (USD/año)	\$108.923,1	\$156.307,7	\$237.538,5	\$210.461,5

Ubicación de la planta

Para la construcción de la planta se considera un terreno de aproximadamente 10.000 m², en consideración de plantas similares en otros países y la región (Ecofibras) y conversaciones con fabricantes de sobre el espacio necesitado. Solo se encontraron terrenos para comprar, no arrendar, que cuentan con el espacio suficiente en la región, ubicados en Coronel, Talcahuano, Cabrero y Negrete. Si bien el objetivo del trabajo indica la ubicación en Concepción, se consideraron las cuatro comunas nombradas. Para seleccionar la ubicación, se consideró la distancia a la mayor cantidad de residuos posibles, en base a la siguiente tabla extraída del “Diagnóstico y Catastro de Residuos Domiciliarios, Región del Biobío” de Subdere, del año 2022.

Tabla 7.26 Porcentajes de generación de RSDyA en la región del Biobío (Subdere, 2022).

COMUNA	% RSDyA sobre la Región	COMUNA	% RSDyA sobre la Región
Concepción	15,63	Los Álamos	0,93
Coronel	8,44	Tirúa	1,06
Chiguayante	4,55	Los Ángeles	11,89
Florida	0,50	Antuco	0,23
Hualqui	1,58	Cabrero	1,73
Lota	2,82	Laja	1,18
Penco	2,82	Mulchén	2,70
San Pedro de La Paz	8,57	Nacimiento	1,13
Santa Juana	0,79	Negrete	0,41
Talcahuano	10,56	Quilaco	0,17
Tomé	3,66	Quilleco	0,42
Hualpén	5,88	San Rosendo	0,29
Lebu	1,49	Santa Bárbara	0,64
Arauco	2,09	Tucapel	0,79
Cañete	2,05	Yumbel	1,18
Contulmo	0,61	Alto Biobío	0,65
Curanilahue	2,57		

Y se consideran de manera arbitraria todas las comunas a una distancia de 50 km o menos de las consideradas para la planta, incluyendo en la que estaría ubicada. Así, se obtiene lo siguiente:

Tabla 7.27 Comunas a menos de 50 km de ubicaciones potenciales para la planta y porcentaje de generación de RSDyA correspondiente.

Comuna planta	Comunas a 50 km o menos en la región del Biobío	% RSDyA sobre la Región
Coronel	12	63,09
Talcahuano	8	55,81
Cabrero	7	18,92
Negrete	6	30,58

Y en base a lo anterior, se escoge la ubicación en el parque industrial de Coronel, de 155m x 65m y con precio de referencia de \$1.340.000.000 CLP. (Re-Chile, 2024)

Flujos de Caja

A continuación, se presentan los flujos de caja calculados por medio de Excel, para cada caso:

Tabla 7.28 Flujo de caja para caso corto plazo pesimista.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Precio [USD/ton]		\$125.89	\$125.89	\$125.89	\$125.89	\$125.89	\$125.89	\$125.89	\$125.89	\$125.89	\$125.89
Demanda anual [ton]		4542	5450	6359	7267	8176	9084	9084	9084	9084	9084
Ingresos (+)		\$571.776	\$686.131	\$800.486	\$914.842	\$1.029.197	\$1.143.552	\$1.143.552	\$1.143.552	\$1.143.552	\$1.143.552
Costos fijos (-)		\$278.924	\$278.924	\$278.924	\$278.924	\$278.924	\$278.924	\$278.924	\$278.924	\$278.924	\$278.924
Gastos de operación (-)		\$112.662	\$132.770	\$152.878	\$172.986	\$193.094	\$213.201	\$213.201	\$213.201	\$213.201	\$213.201
Venta activo (+)											
EBITDA (=)		\$180.189	\$274.437	\$368.684	\$462.931	\$557.179	\$651.426	\$651.426	\$651.426	\$651.426	\$651.426
Depreciación (-)		\$10.238	\$10.238	\$10.238	\$10.238	\$10.238	\$10.238	\$10.238	\$10.238	\$10.238	\$10.238
Valor libro (-)											\$102.383
Resultado antes de impuesto (=)		\$169.951	\$264.198	\$358.446	\$452.693	\$546.941	\$641.188	\$641.188	\$641.188	\$641.188	\$538.805
impuestos (-)		\$32.291	\$50.198	\$68.105	\$86.012	\$103.919	\$121.826	\$121.826	\$121.826	\$121.826	\$102.373
Resultados despues de impuestos (=)		\$137.660	\$214.001	\$290.341	\$366.681	\$443.022	\$519.362	\$519.362	\$519.362	\$519.362	\$436.432
depreciacion (+)		\$10.238	\$10.238	\$10.238	\$10.238	\$10.238	\$10.238	\$10.238	\$10.238	\$10.238	\$10.238
valor libro (+)											\$102.383
Resultado operacional neto (=)		\$147.899	\$224.239	\$300.579	\$376.920	\$453.260	\$529.600	\$529.600	\$529.600	\$529.600	\$549.053
Inversión equipos (-)	\$ 174.765										
Inversión Terreno (-)	\$ 1.170.652										
Inversión maquinaria (-)	\$ 30.000										
Flujo de caja (=)	\$ (1.375.417)	\$147.899	\$224.239	\$300.579	\$376.920	\$453.260	\$529.600	\$529.600	\$529.600	\$529.600	\$549.053
Flujos de caja descontados	\$-1.375.417	\$134.453	\$185.322	\$225.830	\$257.441	\$281.439	\$298.946	\$271.769	\$247.063	\$224.602	\$211.684
Flujos de caja acumulados	\$-1.375.417	\$-1.240.964	\$-1.055.642	\$-829.812	\$-572.371	\$-290.932	\$8.013	\$279.782	\$526.845	\$751.447	\$963.131

Tabla 7.29 Flujo de caja para caso corto plazo optimista.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Precio [USD/ton]		\$125.89	\$125.89	\$125.89	\$125.89	\$125.89	\$125.89	\$125.89	\$125.89	\$125.89	\$125.89
Demanda anual [ton]		9084	9084	9084	9084	9084	9084	9084	9084	9084	9084
Ingresos (+)		\$1.143.552	\$1.143.552	\$1.143.552	\$1.143.552	\$1.143.552	\$1.143.552	\$1.143.552	\$1.143.552	\$1.143.552	\$1.143.552
Costos fijos (-)		\$278.924	\$278.924	\$278.924	\$278.924	\$278.924	\$278.924	\$278.924	\$278.924	\$278.924	\$278.924
Gastos de operación (-)		\$213.201	\$213.201	\$213.201	\$213.201	\$213.201	\$213.201	\$213.201	\$213.201	\$213.201	\$213.201
Venta activo (+)											
EBITDA (=)		\$651.426	\$651.426	\$651.426	\$651.426	\$651.426	\$651.426	\$651.426	\$651.426	\$651.426	\$651.426
Depreciación (-)		\$10.238	\$10.238	\$10.238	\$10.238	\$10.238	\$10.238	\$10.238	\$10.238	\$10.238	\$10.238
Valor libro (-)											\$102.383
Resultado antes de impuesto (=)		\$641.188	\$641.188	\$641.188	\$641.188	\$641.188	\$641.188	\$641.188	\$641.188	\$641.188	\$538.805
impuestos (-)		\$121.826	\$121.826	\$121.826	\$121.826	\$121.826	\$121.826	\$121.826	\$121.826	\$121.826	\$102.373
Resultados despues de impuestos (=)		\$519.362	\$519.362	\$519.362	\$519.362	\$519.362	\$519.362	\$519.362	\$519.362	\$519.362	\$436.432
depreciacion (+)		\$10.238	\$10.238	\$10.238	\$10.238	\$10.238	\$10.238	\$10.238	\$10.238	\$10.238	\$10.238
valor libro (+)											\$102.383
Resultado operacional neto (=)		\$529.600	\$529.600	\$529.600	\$529.600	\$529.600	\$529.600	\$529.600	\$529.600	\$529.600	\$549.053
Inversión equipos (-)	\$ 174.765										
Inversión Terreno (-)	\$ 1.170.652										
Inversión maquinaria (-)	\$ 30.000										
Flujo de caja (=)	\$ (1.375.417)	\$529.600	\$529.600	\$529.600	\$529.600	\$529.600	\$529.600	\$529.600	\$529.600	\$529.600	\$549.053
Flujos de caja descontados	\$-1.375.417	\$481.455	\$437.686	\$397.897	\$361.724	\$328.840	\$298.946	\$271.769	\$247.063	\$224.602	\$211.684
Flujos de caja acumulados	\$-1.375.417	\$-893.962	\$-456.276	\$-58.379	\$303.345	\$632.185	\$931.131	\$1.202.900	\$1.449.962	\$1.674.565	\$1.886.248

Tabla 7.30 Flujo de caja para caso largo plazo A.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Precio [USD/ton]		\$125.90	\$125.90	\$125.90	\$125.90	\$125.90	\$170.88	\$170.88	\$170.88	\$170.88	\$170.88
Demanda anual [ton]		9084	9084	9084	9084	9084	21965	21965	21965	21965	21965
Ingresos (+)		\$1.143.676	\$1.143.676	\$1.143.676	\$1.143.676	\$1.143.676	\$3.753.345	\$3.753.345	\$3.753.345	\$3.753.345	\$3.753.345
Costos fijos (-)		\$183.601	\$183.601	\$183.601	\$183.601	\$183.601	\$297.846	\$297.846	\$297.846	\$297.846	\$297.846
Gastos de operación (-)		\$213.201	\$213.201	\$213.201	\$213.201	\$213.201	\$521.340	\$521.340	\$521.340	\$521.340	\$521.340
Venta activo (+)											
EBITDA (=)		\$746.873	\$746.873	\$746.873	\$746.873	\$746.873	\$632.628	\$2.934.159	\$2.934.159	\$2.934.159	\$2.934.159
Depreciación (-)		\$10.238	\$10.238	\$10.238	\$10.238	\$10.238	\$195.553	\$195.553	\$195.553	\$195.553	\$195.553
Valor libro (-)											\$2.582.100
Resultado antes de impuesto (=)		\$736.635	\$736.635	\$736.635	\$736.635	\$622.390	\$2.738.606	\$2.738.606	\$2.738.606	\$2.738.606	\$156.506
impuestos (-)		\$139.961	\$139.961	\$139.961	\$139.961	\$118.254	\$520.335	\$520.335	\$520.335	\$520.335	\$29.736
Resultados despues de impuestos (=)		\$596.674	\$596.674	\$596.674	\$596.674	\$504.136	\$2.218.271	\$2.218.271	\$2.218.271	\$2.218.271	\$126.770
depreciacion (+)		\$8.738	\$8.738	\$8.738	\$8.738	\$8.738	\$190.803	\$190.803	\$190.803	\$190.803	\$190.803
valor libro (+)											\$2.818.350
Resultado operacional neto (=)		\$605.413	\$605.413	\$605.413	\$605.413	\$512.874	\$2.409.074	\$2.409.074	\$2.409.074	\$2.409.074	\$3.135.923
Inversión equipos (-)	\$ 1.345.417					\$3.641.290					
Inversión Terreno (-)											
Inversión maquinaria (-)	\$ 30.000					\$ 65.000					
Flujo de caja (=)	\$ (1.375.417)	\$605.413	\$605.413	\$605.413	\$605.413	\$-3.193.416	\$2.409.074	\$2.409.074	\$2.409.074	\$2.409.074	\$3.135.923
Flujos de caja descontados	\$-1.375.417	\$550.375	\$500.341	\$454.855	\$413.505	\$-1.982.860	\$1.359.859	\$1.236.236	\$1.123.851	\$1.021.682	\$1.209.034
Flujos de caja acumulados	\$-1.375.417	\$-825.042	\$-324.701	\$130.154	\$543.659	\$-1.439.201	\$-79.341	\$1.156.894	\$2.280.745	\$3.302.427	\$4.511.461

Tabla 7.31 Flujo de caja para caso largo plazo B.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Precio [USD/ton]		\$125,89	\$125,89	\$125,89	\$125,89	\$125,89	\$170,88	\$170,88	\$170,88	\$170,88	\$170,88
Demanda anual [ton]		9084	9084	9084	9084	9084	47731	47731	47731	47731	47731
Ingresos (+)		\$1.143.552	\$1.143.552	\$1.143.552	\$1.143.552	\$1.143.552	\$8.156.273	\$8.156.273	\$8.156.273	\$8.156.273	\$8.156.273
Costos fijos (-)		\$251.689	\$251.689	\$251.689	\$251.689	\$251.689	\$258.498	\$258.498	\$258.498	\$258.498	\$258.498
Gastos de operación (-)		\$213.201	\$213.201	\$213.201	\$213.201	\$213.201	\$1.090.128	\$1.090.128	\$1.090.128	\$1.090.128	\$1.090.128
Venta activo (+)											
EBITDA (=)		\$678.661	\$678.661	\$678.661	\$678.661	\$678.661	\$6.807.647	\$6.807.647	\$6.807.647	\$6.807.647	\$6.807.647
Depreciación (-)		\$10.238	\$10.238	\$10.238	\$10.238	\$10.238	\$279.221	\$279.221	\$279.221	\$279.221	\$279.221
Valor libro (-)											\$3.837.124
Resultado antes de impuesto (=)		\$668.423	\$668.423	\$668.423	\$668.423	\$668.423	\$6.528.426	\$6.528.426	\$6.528.426	\$6.528.426	\$2.691.303
impuestos (-)		\$127.000	\$127.000	\$127.000	\$127.000	\$127.000	\$1.240.401	\$1.240.401	\$1.240.401	\$1.240.401	\$511.347
Resultados despues de impuestos (=)		\$541.423	\$541.423	\$541.423	\$541.423	\$541.423	\$5.288.025	\$5.288.025	\$5.288.025	\$5.288.025	\$2.179.955
depreciación (+)		\$10.238	\$10.238	\$10.238	\$10.238	\$10.238	\$279.221	\$279.221	\$279.221	\$279.221	\$279.221
valor libro (+)											\$3.837.124
Resultado operacional neto (=)		\$551.661	\$551.661	\$551.661	\$551.661	\$551.661	\$5.567.246	\$5.567.246	\$5.567.246	\$5.567.246	\$6.296.300
Inversión equipos (-)	\$ 174.765					\$5.314.655					
Inversión Terreno (-)	\$ 1.170.652										
Inversión maquinaria (-)	\$ 30.000					\$ 65.000					
Flujo de caja (=)	\$ (1.375.417)	\$551.661	\$551.661	\$551.661	\$551.661	-\$4.827.994	\$5.567.246	\$5.567.246	\$5.567.246	\$5.567.246	\$6.296.300
Flujos de caja descontados	-\$1.375.417	\$501.510	\$455.918	\$414.471	\$376.792	-\$2.997.804	\$3.142.565	\$2.856.878	\$2.597.161	\$2.361.056	\$2.427.496
Flujos de caja acumulados	-\$1.375.417	-\$873.907	-\$417.989	-\$3.518	\$373.274	-\$2.624.530	\$518.035	\$3.374.913	\$5.972.074	\$8.333.130	\$10.760.626

Tabla 7.32 Flujo de caja para caso largo plazo C.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Precio [USD/ton]		\$125,89	\$125,89	\$125,89	\$125,89	\$125,89	\$170,88	\$170,88	\$170,88	\$170,88	\$170,88
Demanda anual [ton]		9084	9084	9084	9084	9084	95040	95040	95040	95040	95040
Ingresos (+)		\$1.143.552	\$1.143.552	\$1.143.552	\$1.143.552	\$1.143.552	\$16.240.435	\$16.240.435	\$16.240.435	\$16.240.435	\$16.240.435
Costos fijos (-)		\$224.454	\$224.454	\$224.454	\$224.454	\$224.454	\$299.351	\$299.351	\$299.351	\$299.351	\$299.351
Gastos de operación (-)		\$213.201	\$213.201	\$213.201	\$213.201	\$213.201	\$2.138.893	\$2.138.893	\$2.138.893	\$2.138.893	\$2.138.893
Venta activo (+)											
EBITDA (=)		\$705.897	\$705.897	\$705.897	\$705.897	\$705.897	\$13.802.191	\$13.802.191	\$13.802.191	\$13.802.191	\$13.802.191
Depreciación (-)		\$11.899	\$11.899	\$11.899	\$11.899	\$11.899	\$417.560	\$417.560	\$417.560	\$417.560	\$417.560
Valor libro (-)											\$5.903.910
Resultado antes de impuesto (=)		\$693.998	\$693.998	\$693.998	\$693.998	\$693.998	\$13.384.631	\$13.384.631	\$13.384.631	\$13.384.631	\$7.480.721
impuestos (-)		\$131.860	\$131.860	\$131.860	\$131.860	\$131.860	\$2.543.080	\$2.543.080	\$2.543.080	\$2.543.080	\$1.421.337
Resultados despues de impuestos (=)		\$562.139	\$562.139	\$562.139	\$562.139	\$562.139	\$10.841.551	\$10.841.551	\$10.841.551	\$10.841.551	\$6.059.384
depreciación (+)		\$11.899	\$11.899	\$11.899	\$11.899	\$11.899	\$417.560	\$417.560	\$417.560	\$417.560	\$417.560
valor libro (+)											\$5.903.910
Resultado operacional neto (=)		\$574.037	\$574.037	\$574.037	\$574.037	\$574.037	\$11.259.111	\$11.259.111	\$11.259.111	\$11.259.111	\$12.380.854
Inversión equipos (-)	\$ 207.970					\$8.048.233					
Inversión Terreno (-)	\$ 1.170.652										
Inversión maquinaria (-)	\$ 30.000					\$65.000					
Flujo de caja (=)	-\$1378622,35	\$574.037	\$574.037	\$574.037	\$574.037	-\$7.474.195	\$11.259.111	\$11.259.111	\$11.259.111	\$11.259.111	\$12.380.854
Flujos de caja descontados	-\$1.378.622	\$521.852	\$474.411	\$431.283	\$392.075	-\$4.640.887	\$6.355.475	\$5.777.704	\$5.252.458	\$4.774.962	\$4.773.355
Flujos de caja acumulados	-\$1.378.622	-\$856.770	-\$382.360	\$48.923	\$440.998	-\$4.199.889	\$2.155.585	\$7.933.290	\$13.185.748	\$17.960.710	\$22.734.066

Tabla 7.33 Flujo de caja para planta de Zhengzhou Yuxi Machinery Equipment.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Precio [USD/ton]		\$170,88	\$170,88	\$170,88	\$170,88	\$170,88	\$170,88	\$170,88	\$170,88	\$170,88	\$170,88
Demanda anual [ton]		48154	48154	48154	48154	48154	48154	48154	48154	48154	48154
Ingresos (+)		\$8.228.487	\$8.228.487	\$8.228.487	\$8.228.487	\$8.228.487	\$8.228.487	\$8.228.487	\$8.228.487	\$8.228.487	\$8.228.487
Costos fijos (-)		\$156.981	\$156.981	\$156.981	\$156.981	\$156.981	\$156.981	\$156.981	\$156.981	\$156.981	\$156.981
Gastos de operación (-)		\$1.134.433	\$1.134.433	\$1.134.433	\$1.134.433	\$1.134.433	\$1.134.433	\$1.134.433	\$1.134.433	\$1.134.433	\$1.134.433
Venta activo (+)											
EBITDA (=)		\$6.937.073	\$6.937.073	\$6.937.073	\$6.937.073	\$6.937.073	\$6.937.073	\$6.937.073	\$6.937.073	\$6.937.073	\$6.937.073
Depreciación (-)		\$159.107	\$159.107	\$159.107	\$159.107	\$159.107	\$159.107	\$159.107	\$159.107	\$159.107	\$159.107
Valor libro (-)											\$1.591.069
Resultado antes de impuesto (=)		\$6.777.966	\$6.777.966	\$6.777.966	\$6.777.966	\$6.777.966	\$6.777.966	\$6.777.966	\$6.777.966	\$6.777.966	\$5.186.897
impuestos (-)		\$1.287.814	\$1.287.814	\$1.287.814	\$1.287.814	\$1.287.814	\$1.287.814	\$1.287.814	\$1.287.814	\$1.287.814	\$985.510
Resultados despues de impuestos (=)		\$5.490.152	\$5.490.152	\$5.490.152	\$5.490.152	\$5.490.152	\$5.490.152	\$5.490.152	\$5.490.152	\$5.490.152	\$4.201.386
depreciación (+)		\$159.107	\$159.107	\$159.107	\$159.107	\$159.107	\$159.107	\$159.107	\$159.107	\$159.107	\$159.107
valor libro (+)											\$1.591.069
Resultado operacional neto (=)		\$5.649.259	\$5.649.259	\$5.649.259	\$5.649.259	\$5.649.259	\$5.649.259	\$5.649.259	\$5.649.259	\$5.649.259	\$5.951.563
Inversión equipos (-)	\$ 3.087.139										
Inversión Terreno (-)	\$ 1.170.652										
Inversión maquinaria (-)	\$ 95.000										
Flujo de caja (=)	-\$4257790,705	\$5.649.259	\$5.649.259	\$5.649.259	\$5.649.259	\$5.649.259	\$5.649.259	\$5.649.259	\$5.649.259	\$5.649.259	\$5.951.563
Flujos de caja descontados	-\$4.257.791	\$5.135.690	\$4.668.809	\$4.244.372	\$3.858.520	\$3.507.746	\$3.188.860	\$2.898.963	\$2.635.421	\$2.395.837	\$2.294.585
Flujos de caja acumulados	-\$4.257.791	\$877.900	\$5.546.709	\$9.791.081	\$13.649.601	\$17.157.347	\$20.346.206	\$23.245.170	\$25.880.591	\$28.276.428	\$30.571.013

Tabla 7.34 Flujo de caja para planta de Baoding Baonan Machinery And Equipment.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Precio [USD/ton]		\$131,96	\$131,96	\$131,96	\$131,96	\$131,96	\$131,96	\$131,96	\$131,96	\$131,96	\$131,96
Demanda anual [ton]		48154	48154	48154	48154	48154	48154	48154	48154	48154	48154
Ingresos (+)		\$6.354.349	\$6.354.349	\$6.354.349	\$6.354.349	\$6.354.349	\$6.354.349	\$6.354.349	\$6.354.349	\$6.354.349	\$6.354.349
Costos fijos (-)		\$156.981	\$156.981	\$156.981	\$156.981	\$156.981	\$156.981	\$156.981	\$156.981	\$156.981	\$156.981
Gastos de operación (-)		\$1.116.301	\$1.116.301	\$1.116.301	\$1.116.301	\$1.116.301	\$1.116.301	\$1.116.301	\$1.116.301	\$1.116.301	\$1.116.301
Venta activo (+)											
EBITDA (=)		\$5.081.067	\$5.081.067	\$5.081.067	\$5.081.067	\$5.081.067	\$5.081.067	\$5.081.067	\$5.081.067	\$5.081.067	\$5.081.067
Depreciación (-)		\$159.107	\$159.107	\$159.107	\$159.107	\$159.107	\$159.107	\$159.107	\$159.107	\$159.107	\$159.107
Valor libro (-)											-\$1.109.405
Resultado antes de impuesto (=)		\$4.921.960	\$4.921.960	\$4.921.960	\$4.921.960	\$4.921.960	\$4.921.960	\$4.921.960	\$4.921.960	\$4.921.960	\$6.031.366
impuestos (-)		\$935.172	\$935.172	\$935.172	\$935.172	\$935.172	\$935.172	\$935.172	\$935.172	\$935.172	\$1.145.959
Resultados despues de impuestos (=)		\$3.986.788	\$3.986.788	\$3.986.788	\$3.986.788	\$3.986.788	\$3.986.788	\$3.986.788	\$3.986.788	\$3.986.788	\$4.885.406
depreciacion (+)		\$159.107	\$159.107	\$159.107	\$159.107	\$159.107	\$159.107	\$159.107	\$159.107	\$159.107	\$159.107
valor libro (+)											-\$1.109.405
Resultado operacional neto (=)		\$4.145.895	\$4.145.895	\$4.145.895	\$4.145.895	\$4.145.895	\$4.145.895	\$4.145.895	\$4.145.895	\$4.145.895	\$3.935.108
Inversión equipos (-)	\$ 386.664										
Inversión Terreno (-)	\$ 1.170.652										
Inversión maquinaria (-)	\$ 95.000										
Flujo de caja (=)	-1557316,03	\$4.145.895	\$4.145.895	\$4.145.895	\$4.145.895	\$4.145.895	\$4.145.895	\$4.145.895	\$4.145.895	\$4.145.895	\$3.935.108
Flujos de caja descontados	-\$1.557.316	\$4.145.895	\$4.145.895	\$4.145.895	\$4.145.895	\$4.145.895	\$4.145.895	\$4.145.895	\$4.145.895	\$4.145.895	\$3.935.108
Flujos de caja acumulados	-\$1.557.316	\$2.588.579	\$6.734.473	\$10.880.368	\$15.026.263	\$19.172.158	\$23.318.053	\$27.463.947	\$31.609.842	\$35.755.737	\$39.690.845

Tabla 7.35 Flujo de caja para planta de Henan Hongzhi Machinery Manufacturing .

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Precio [USD/ton]		\$131,96	\$131,96	\$131,96	\$131,96	\$131,96	\$131,96	\$131,96	\$131,96	\$131,96	\$131,96
Demanda anual [ton]		42240	42240	42240	42240	42240	42240	42240	42240	42240	42240
Ingresos (+)		\$5.573.990	\$5.573.990	\$5.573.990	\$5.573.990	\$5.573.990	\$5.573.990	\$5.573.990	\$5.573.990	\$5.573.990	\$5.573.990
Costos fijos (-)		\$211.452	\$211.452	\$211.452	\$211.452	\$211.452	\$211.452	\$211.452	\$211.452	\$211.452	\$211.452
Gastos de operación (-)		\$981.144	\$981.144	\$981.144	\$981.144	\$981.144	\$981.144	\$981.144	\$981.144	\$981.144	\$981.144
Venta activo (+)											
EBITDA (=)		\$4.381.395	\$4.381.395	\$4.381.395	\$4.381.395	\$4.381.395	\$4.381.395	\$4.381.395	\$4.381.395	\$4.381.395	\$4.381.395
Depreciación (-)		\$49.270	\$49.270	\$49.270	\$49.270	\$49.270	\$49.270	\$49.270	\$49.270	\$49.270	\$49.270
Valor libro (-)											\$610.452
Resultado antes de impuesto (=)		\$4.332.125	\$4.332.125	\$4.332.125	\$4.332.125	\$4.332.125	\$4.332.125	\$4.332.125	\$4.332.125	\$4.332.125	\$3.721.673
impuestos (-)		\$823.104	\$823.104	\$823.104	\$823.104	\$823.104	\$823.104	\$823.104	\$823.104	\$823.104	\$707.118
Resultados despues de impuestos (=)		\$3.509.022	\$3.509.022	\$3.509.022	\$3.509.022	\$3.509.022	\$3.509.022	\$3.509.022	\$3.509.022	\$3.509.022	\$3.014.555
depreciacion (+)		\$49.270	\$49.270	\$49.270	\$49.270	\$49.270	\$49.270	\$49.270	\$49.270	\$49.270	\$49.270
valor libro (+)											\$610.452
Resultado operacional neto (=)		\$3.558.291	\$3.558.291	\$3.558.291	\$3.558.291	\$3.558.291	\$3.558.291	\$3.558.291	\$3.558.291	\$3.558.291	\$3.674.277
Inversión equipos (-)	\$ 1.008.149										
Inversión Terreno (-)	\$ 1.170.652										
Inversión maquinaria (-)	\$ 95.000										
Flujo de caja (=)	-2178800,62	\$3.558.291	\$3.558.291	\$3.558.291	\$3.558.291	\$3.558.291	\$3.558.291	\$3.558.291	\$3.558.291	\$3.558.291	\$3.674.277
Flujos de caja descontados	-\$2.178.801	\$3.234.810	\$2.940.737	\$2.673.397	\$2.430.361	\$2.209.419	\$2.008.563	\$1.825.966	\$1.659.969	\$1.509.063	\$1.416.593
Flujos de caja acumulados	-\$2.178.801	\$1.056.010	\$3.996.746	\$6.670.143	\$9.100.504	\$11.309.923	\$13.318.485	\$15.144.451	\$16.804.420	\$18.313.483	\$19.730.076

Tabla 7.36 Flujo de caja para planta de AMP Sortation.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Precio [USD/ton]		\$170,88	\$170,88	\$170,88	\$170,88	\$170,88	\$170,88	\$170,88	\$170,88	\$170,88	\$170,88
Demanda anual [ton]		95040	95040	95040	95040	95040	95040	95040	95040	95040	95040
Ingresos (+)		\$16.240.435	\$16.240.435	\$16.240.435	\$16.240.435	\$16.240.435	\$16.240.435	\$16.240.435	\$16.240.435	\$16.240.435	\$16.240.435
Costo fijos (-)		\$7.128.000	\$7.128.000	\$7.128.000	\$7.128.000	\$7.128.000	\$7.128.000	\$7.128.000	\$7.128.000	\$7.128.000	\$7.128.000
Gastos de operación (-)		\$2.103.754	\$2.103.754	\$2.103.754	\$2.103.754	\$2.103.754	\$2.103.754	\$2.103.754	\$2.103.754	\$2.103.754	\$2.103.754
Venta activo (+)											
EBITDA (=)		\$7.008.681	\$7.008.681	\$7.008.681	\$7.008.681	\$7.008.681	\$7.008.681	\$7.008.681	\$7.008.681	\$7.008.681	\$7.008.681
Depreciación (-)		\$750.000	\$750.000	\$750.000	\$750.000	\$750.000	\$750.000	\$750.000	\$750.000	\$750.000	\$750.000
Valor libro (-)											\$7.500.000
Resultado antes de impuesto (=)		\$6.258.681	\$6.258.681	\$6.258.681	\$6.258.681	\$6.258.681	\$6.258.681	\$6.258.681	\$6.258.681	\$6.258.681	-\$1.241.319
Impuestos (-)		\$1.189.149	\$1.189.149	\$1.189.149	\$1.189.149	\$1.189.149	\$1.189.149	\$1.189.149	\$1.189.149	\$1.189.149	-\$235.851
Resultados despues de impuestos (=)		\$5.069.532	\$5.069.532	\$5.069.532	\$5.069.532	\$5.069.532	\$5.069.532	\$5.069.532	\$5.069.532	\$5.069.532	-\$1.005.468
Depreciacion (+)		\$750.000	\$750.000	\$750.000	\$750.000	\$750.000	\$750.000	\$750.000	\$750.000	\$750.000	\$750.000
Valor libro (+)											\$7.500.000
Resultado operacional neto (=)		\$5.819.532	\$5.819.532	\$5.819.532	\$5.819.532	\$5.819.532	\$5.819.532	\$5.819.532	\$5.819.532	\$5.819.532	\$7.244.532
Inversión inicial (-)	\$ 30.000.000										
inversion terreno (-)	\$ 1.170.652										
Flujo de caja (=)	-31170652	\$5.819.532	\$5.819.532	\$5.819.532	\$5.819.532	\$5.819.532	\$5.819.532	\$5.819.532	\$5.819.532	\$5.819.532	\$7.244.532
Flujos de caja descontados	-\$31.170.652	\$5.290.483	\$4.809.530	\$4.372.300	\$3.974.818	\$3.613.471	\$3.284.974	\$2.986.340	\$2.714.854	\$2.468.049	\$2.793.081
Flujos de caja acumulados	-\$31.170.652	-\$25.880.169	-\$21.070.638	-\$16.698.338	-\$12.723.520	-\$9.110.049	-\$5.825.075	-\$2.838.735	-\$123.880	\$2.344.169	\$5.137.250

Resumen FI

UNIVERSIDAD DE CONCEPCION – FACULTAD DE INGENIERIA RESUMEN DE MEMORIA DE TITULO

Departamento	: Departamento de Ingeniería Química
Carrera	: Ingeniería Civil Química
Nombre del memorista	: Arturo Horacio Parada Briones
Título de la memoria	: Evaluación Técnico-Económica Respecto de Tecnologías de Separación de Residuos Con foco en la Implementación de la Ley REP
Fecha de la presentación oral:	
Profesor(es) Guía	: Fernando Márquez y Juan Carlos Carrasco
Profesor(es) Revisor(es)	: Katherina Fernández
Concepto	:
Calificación	:

Resumen (máximo 200 palabras)

En marco de la implementación de la Ley REP, se busca evaluar la factibilidad técnico-económica de una planta de separación de residuos de grupos prioritarios en la región del Biobío. Para esto se investiga sobre las cantidades de residuos generadas en la zona y sobre las tecnologías de separación del estado del arte aplicables a estos materiales. Con esto, se propone un diseño para una planta y se evalúa su factibilidad técnico-económica. Para cumplir lo anterior, se realizan entrevistas a distintos actores de gestión de residuos en la región, se hacen consultas bibliográficas sobre las generaciones, se estudian plantas modernas y se hacen cotizaciones con fabricantes de equipos. Finalmente se construyen flujos de caja para la evaluación. Se decide trabajar con residuos de envases y embalajes, fundamentándose en la información disponible sobre las generaciones, las normas existentes y la utilidad de una planta para este caso. Se diseñan dos casos, uno a corto plazo y otro a largo plazo, además de considerar plantas ofrecidas por fabricantes. Todos los casos y diseños resultan factibles, siendo el TIR y VAN directamente proporcional a la inversión, en los casos de plantas propias. La variable más influyente es el precio de venta del material.