



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

INGENIERÍA DE PERFIL DE UNA PLANTA DE PRETRATAMIENTO DE BOTELLAS PET
Y UN SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL MECÁNICO

MARTÍN TOMÁS CAMPOS PINOCHET

PROFESOR GUÍA:
PATRICIO JORQUERA ENCINA

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
HUMBERTO PALZA CORDERO
RODRIGO PALMA HILLERNS

SANTIAGO DE CHILE
2017

INGENIERÍA DE PERFIL DE UNA PLANTA DE PRETRATAMIENTO DE BOTELLAS PET Y UN SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS

En la actualidad en Chile se reciclan las botellas de PoliEtileno Tereftalato (PET), sin embargo, esto se realiza en porcentajes muy bajos, teniendo como ejemplo el año 2012, donde de las 57.000 toneladas que se produjeron, sólo un 16%, o sea, 9.600 toneladas fueron recicladas. De esta forma, el 84% de las botellas PET son un Residuo Sólido Municipal (RSM) catalogado como Envases y Embalajes (EyE) que no se encuentra valorizado y que termina en rellenos sanitarios, vertederos, basurales o incluso en calles, océanos y reservas naturales del país.

El objetivo principal es: evaluar y diseñar, mediante una ingeniería de perfil, un sistema de recolección de residuos para una planta de pretratamiento de botellas PET. Considerando que una de las motivaciones de la memoria es aportar a la revitalización de la industria nacional por medio de organizaciones que implementen el trabajo cooperativo, todo aquello desarrollado mediante posibilidades que se adecuen al contexto actual del país, como lo es la nueva Ley Marco para la Gestión de Residuos y de Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento al Reciclaje (REP).

La idea de la memoria es el diseño de un sistema de recolección de botellas, el cual contempla contenedores que son instalados por los Recicladores de Base (RRBB), en donde las personas depositan sus botellas del residuo. El objetivo planteado se concreta paulatinamente, comenzando con el reciclador que recolecta a pie lo depositado en sus contenedores, y éstas botellas recolectadas son vendidas a intermediarios. Luego, a medida que el RRBB instala más contenedores cada mes, éste tiene acceso a comprar un triciclo eléctrico y una compactadora a finales del primer año, para así vender fardos de botellas directamente a las empresas recicladoras del país. Con el aumento de dicha recolección, en el segundo año se arrienda un galpón como centro de acopio, en el tercer año se compra un camión 3/4 y en el cuarto año se amplía el galpón y compra un segundo vehículo. Todo lo anterior, para que en el quinto año se instale la planta de pretratamiento de botellas, la cual permite vender además de fardos, escamas limpias y secas de PET.

En la presente investigación se entrevista a los principales actores involucrados, tales como: RRBB, RECI PET (empresa recicladora de botellas PET en Chile), intermediarios, representantes del Ministerio del Medio Ambiente, además se investiga acerca de las prácticas y experiencias en torno al reciclaje de botellas PET en Chile, todo esto para establecer una línea de base.

Se presenta en los resultados la línea de base, el sistema de recolección de residuos, anteriormente descrito, las tasas de recolección necesarias para su transición hasta la planta pretratamiento, el layout de planta, el PFD, un presupuesto de equipos y máquinas necesarias, todo esto permiten declarar la viabilidad del proyecto, con una capacidad instalada de 42[toneladas/mes] a finales del séptimo año, 2 productos finales (fardos y escamas) y una baja inversión de capital inicial. Finalmente el VAN es de \$29.936.782[CLP] al utilizar una tasa del 30% y una TIR de 152%.

*A mi familia y amigos
A los que quiero y me quieren
A los que no nos conformamos*

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Antecedentes generales	1
1.2. Motivación	1
1.3. Objetivos	1
1.3.1. Objetivo General	1
1.3.2. Objetivos Específicos	2
1.4. Alcances	2
2. Metodología	3
3. Antecedentes específicos	4
3.1. Polietileno Tereftalato (PET)	4
3.1.1. Historia	4
3.1.2. Material PET	4
3.1.3. Propiedades Físicas y Mecánicas	5
3.1.4. Usos típicos del PET	6
3.1.5. Envase PET	7
3.1.6. Reciclaje de PET	8
3.2. Ley Marco para la Gestión de Residuos, Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento al Reciclaje (REP)	11
3.3. Recolección y Recolectores Informales	13
3.3.1. Experiencia internacional	13
3.3.2. Experiencia nacional	14
4. Resultados	16
4.1. Línea de Base	16
4.2. Ingeniería de Perfil	21
4.2.1. Prefactibilidad técnica	21
4.2.2. Prefactibilidad económica	43
5. Análisis y discusión de resultados	51
5.1. Análisis y discusiones de línea de Base	51
5.2. Análisis y discusiones de Prefactibilidad técnica	52
5.3. Análisis y discusiones de Prefactibilidad económica	54
6. Conclusiones	56
Bibliografía	58

Índice de Ilustraciones

2.1. Metodología	3
3.1. Polietileno Tereftalato	4
3.2. Diagrama de flujo de producción botella PET	7
3.3. Proceso de inyección y moldeo por soplado	8
3.4. Reciclado Mecánico	9
4.1. Nivel educacional más alto que alcanzaron los RRBB	17
4.2. Cuanto gana en el trabajo de reciclaje al mes	18
4.3. Ubicación de planta	23
4.4. Sistema de recolección por sector	26
4.5. Contenedor de botellas PET	30
4.6. Maxisacos	30
4.7. Escamas de PET, luego de su trituración	32
4.8. Transpaleta	34
4.9. PFD Diagrama de Flujo de Proceso sin planta de pretratamiento	40
4.10. PFD Diagrama de Flujo de Proceso con planta de pretratamiento	40
4.11. Diagrama resumen de inversiones por hito	48
4.12. Flujo de caja	50

Índice de Tablas

3.1. Propiedades PET	5
3.2. Poder Calorífico de diversos combustibles	10
4.1. Precio de materiales de intermediarios v/s empresas recicladoras	19
4.2. Resumen línea de Base	20
4.3. Características NCh3407	22
4.4. Resumen clasificación por medio de transporte	24
4.5. Progresión de llenado de primer y segundo mes de 1 contenedor	27
4.6. Progreso acumulado de recolección en [kg] con instalación de 1 contenedor mensual	28
4.7. Progreso acumulado de recolección en [kg] con instalación de 2 contenedores mensuales	28
4.8. Progreso acumulado de recolección en [kg] con crecimiento anual de 7 toneladas	28
4.9. Tipos de recorrido	31
4.10. Costos equipos recolección a pie	35
4.11. Costos equipos de recolección en torito	36
4.12. Costos equipos de recolección en camión	36
4.13. Costos equipos de separación a pie, en torito y camión 3/4	36
4.14. Costos equipos de separación en camión	37
4.15. Costos equipo de trituración	37
4.16. Costo equipo de separación por densidad	37
4.17. Costo equipo de lavado	37
4.18. Costo equipo de secado	37
4.19. Costo equipo almacenamiento	38
4.20. Resumen costos de control de calidad	38
4.21. Consumo eléctrico	38
4.22. Precio máquinas e instrumentos	39
4.23. Resumen OPEX	45
4.24. Supuestos de ingresos	46
4.25. Proyección de compra de maquinaria	47
4.26. Flujo de caja privado	49
4.27. Resultados flujo de caja	50

1. Introducción

1.1. Antecedentes generales

El 17 de Mayo de 2016 se promulgó la nueva ley de fomento al reciclaje y responsabilidad extendida del productor (REP), en esta ley se definen productos prioritarios los cuales se caracterizan por ser de uso masivo, generar gran cantidad de residuos y además poder ser valorizados. Una categoría de productos prioritarios son los Envases y Embalajes (EyE), los cuales constituyen mas de un 10% de todos los residuos solidos municipales (RSM) ¹.

Actualmente la mayoría de los EyE son plásticos, debido a su bajo costo, producción en masa y gran hermeticidad. Uno de estos EyE, son las botellas PET (PoliEtileno Tereftalato), las cuales se caracterizan por su elevada valorización económica (cerca de \$300 [CLP] por kilogramo) y un mercado internacional experimentado en el reciclaje de este residuo.

En Chile sucede que aunque se recolectan botellas PET, esto se hace en una pequeña escala, que no alcanza a cubrir la capacidad instalada en las pocas empresas que se dedican al reciclaje de este residuo, es por esto que dichas empresas se ven obligadas a importar botellas postconsumo de otros países de la región, los cuales tienen mercados de reciclaje más evolucionados, por ejemplo Bolivia, Paraguay, Perú, Ecuador, Honduras y El Salvador.

1.2. Motivación

La principal motivación de esta memoria se encuentra ligada al trabajo que realizan los recicladores de base (RRBB) día a día, donde literalmente, “a mano” separan los residuos que todos los chilenos botan, para así aportar desde el área de la ingeniería mecánica al trabajo de los RRBB, con las herramientas adquiridas en los años de formación universitaria.

Además cabe destacar que se realiza este trabajo como parte de una motivación personal, que apunta a la revitalización de la industria manufacturera nacional, por medio de organizaciones que implementen el trabajo solidario y cooperativo. Esto mediante posibilidades que se adecuen al contexto actual del país, como lo es la nueva ley de REP de fomento al reciclaje.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Por todo lo anteriormente mencionado, el objetivo general de esta memoria es: evaluar y diseñar, mediante una ingeniería de perfil, un sistema de recolección de residuos para una planta de pretra-

¹<http://portal.mma.gob.cl/>

tamiento de botellas PET

1.3.2. Objetivos Específicos

Para lograr dicho objetivo general, se establecen los siguientes objetivos específicos:

- Definir una línea de base del proceso de reciclaje y recolección de botellas PET, a nivel nacional.
- Proponer un sistema de recolección de residuos y una planta de pretratamiento para reciclaje de botellas PET, que mediante el desarrollo de la ingeniería de perfil, se adapte a las necesidades y posibilidades de los recicladores de base.

1.4. Alcances

El trabajo de título evalúa y diseña los procesos de recolección y pretratamiento de botellas PET para generar una propuesta a los RRBB, no se implementa dicha propuesta, realizando lo correspondiente a un estudio de perfil. El desarrollo de la memoria contempla, la revisión de procesos de recolección y reciclaje, la realización de una línea de base sobre los recicladores de base de Santiago, además en la ingeniería de perfil se realizan los estudios generales de entorno, la ubicación de la planta, la definición y descripción del modelo de recolección de residuos propuesto, definición de tasas de crecimiento en bloque, descripción general de planta de proceso de reciclaje, sus principales equipos y procesos, y el costeo de estos. Además se realiza el Diagrama de Flujo de Procesos (PFD) y 2 layout tentativos de planta. De esta forma es posible evaluar económicamente el proceso propuesto mediante OPEX y CAPEX, proyecciones de ingresos, supuestos de flujo de caja y flujo de caja. Obteniendo indicadores relevantes tales como el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR) del proyecto.

2. Metodología

Para realizar el trabajo de título la metodología a seguir fue la siguiente:

- Se definió una línea de Base de los procesos de reciclaje de PET, para su posterior comparación, mediante la metodología de entrevistas. Dicha línea de base contempla indicadores que reflejan la situación actual del reciclaje y de los RRBB en Chile.
- Se entrevistaron expertos en las áreas involucradas en el ciclo de vida del PET: productores, importadores de materia prima, empresas recicladoras, intermediarios, RRBB, Ministerio del Medio Ambiente (MMA), para generar una propuesta valida para las necesidades actuales de los recicladores de base.
- Se revisó la bibliografía y estado del arte de los procesos para reciclaje del PET en Chile. En un principio por medio de tesis y memorias relacionadas, para luego investigar y actualizar datos atinentes al tema de esta memoria.
- Se estudió la pre factibilidad técnica y económica de un sistema de recolección de residuos para una planta de pretratamiento de botellas PET. La evaluación técnica contempla estudios iniciales, estudios generales de entorno, estudios de dimensionamiento y un layout. La evaluación económica incluye los cálculos de indicadores relevantes tales como el VAN y TIR, esta evaluación se realiza en el software Microsoft Excel. Se realizó un análisis de sensibilidad económica ocupando aquellas variables que son relevantes en la evaluación y su impacto bajo distintos escenarios.
- Se generó una primera propuesta de procesos para el reciclaje de PET para recicladores de Base. Esto ya que el proyecto tiene un público objetivo claro.
- Se re-formuló y revisó la propuesta, hasta terminar una ingeniería de perfil.
- Se presentó y entregó el informe final.

Se presenta en la Figura 2.1 un diagrama para explicar lo propuesto como metodología.

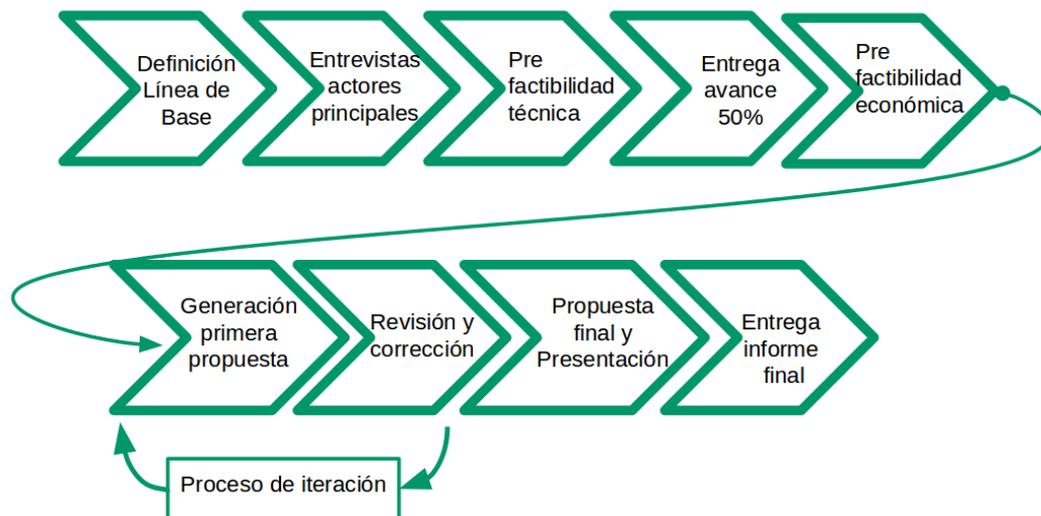


Figura 2.1: Metodología

3. Antecedentes específicos

3.1. Polietileno Tereftalato (PET)

3.1.1. Historia

Los orígenes del PET datan de 1929, en escritos del estadounidense Wallace Carothers, inventor y líder del departamento de química orgánica de DuPont. Sin embargo el PET fue patentado por los científicos británicos John Rex Whinfield y James Tennant Dickson al continuar estos con las investigaciones de Wallace Carothers, como un polímero para fibra, entre el año 1939 y 1941. En un periodo de guerras, surge la necesidad de un sustituto al algodón como fibra, por eso todos los estudios en esta materia. A partir del año 1946 se comienza a utilizar industrialmente como fibra, cuyo uso sigue hasta la actualidad, donde se encuentra en un nuevo apogeo debido a su uso en ropas térmicas. En 1952 se comienza a emplear como filme para envasar alimentos, desde ese punto al ver su utilidad con los alimentos, cuya hermeticidad permite la inocuidad del producto, en 1976 se utiliza como envase rígido tipo botella, para refrescos carbonatados y agua mineral².

3.1.2. Material PET

Químicamente el PET es un polímero termoplástico lineal, con alto grado de cristalinidad. Pertenece al grupo de materiales sintéticos denominados poliésteres. Un kilogramo de PET está compuesto por 64% de petróleo, 23% de derivados líquidos del gas natural y 13% de aire. A partir del petróleo crudo, se extrae el paraxileno y se oxida con el aire para dar ácido tereftálico. El etileno, que se obtiene a partir de derivados del gas natural, es oxidado con aire para formar etilenglicol³. El método más simple para obtener PET es por medio de la esterificación (transesterificación) del ácido tereftálico con el etilenglicol, formando el bis-β-hidroxietil tereftalato, este se somete a un proceso de polimerización en etapas para obtener un polímero de cadena larga. Típicamente “n” estará dentro del rango de 100 a 200, mientras más alto es el peso molecular (PM) mejores valores presentan las propiedades físicas y mecánicas del material⁴, el monómero de PET se detalla entre paréntesis en la Figura 3.1.

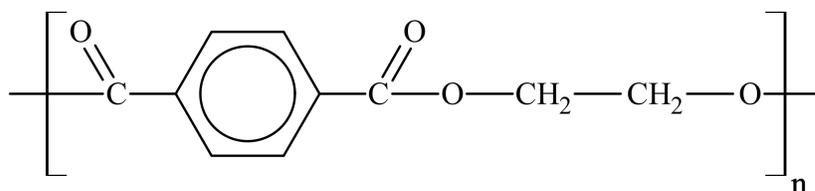


Figura 3.1: Polietileno Tereftalato

²http://www.eis.uva.es/macromol/curso05-06/pet/un_poco_de_historia.htm

³http://www.aliplast.org/tipos_plastico/pet.html

⁴<http://www.eis.uva.es/macromol/curso04-05/pet/obtencionpet.html>

Mientras la reacción de transesterificación tiene lugar por la eliminación de metanol como subproducto, la fase de polimerización en etapas que se realiza al vacío, libera una molécula de etilenglicol cada vez que la cadena se alarga por una unidad repetida. Una vez que se tiene la longitud de la cadena requerida, el PET fundido se solidifica. Esto se efectúa a través de una extrusora con dado de orificios múltiples, para obtener un espagueti que se enfría en agua, en forma semisólida es cortado en un peletizador y se obtiene un pellet granulado de PET.

La polimerización en estado sólido (SSP) en la que se produce un PET de alto peso molecular (PM). SSP se utiliza para aumentar el grado de polimerización a 150, y también el aumento de PM. Las condiciones de funcionamiento del SSP son 200-240 [°C] a 100 [kPa] y 5-25 [h]. El PET de grado botella que tiene una viscosidad intrínseca de 0,7-0,81 [dl/g] es producido normalmente por SSP a 210[°C] durante alrededor de 15-20 [h]. [1]

3.1.3. Propiedades Físicas y Mecánicas

El PET comercial tiene un amplio rango de viscosidad intrínseca, que varía de 0,45 a 1,2 [dl/g] con un índice de polidispersidad generalmente igual a 2. La baja flexibilidad de las cadenas de PET es resultado de los pequeños grupos de etileno y la presencia del grupo p-phenylene. Esta inflexibilidad de la cadena afecta significativamente las propiedades relacionadas con la estructura del PET, tales como las transiciones térmicas. [1]

Las propiedades físicas y mecánicas del PET son detalladas en la Tabla 3.1.

Además el Tereftalato de Polietileno en general cuenta con las siguientes características y propiedades que lo diferencian de los demás polímeros:

Tabla 3.1: Propiedades PET

Propiedad	Valor	Unidad
Densidad	1,41	g/cm^3
Peso medio MW	30.000-80.000	g/mol
Módulo de Young(E)	1.700	MPa
Límite elástico	4	%
Resistencia a la rotura	50	MPa
Temperatura transición Vitrea	69-115	°C
Temperatura de fusión	265	°C
Temperatura Vicat B	170	°C
Conductividad Térmica	0,24	W/mK
Calor específico	1,05	kJ/kgK
Absorción de Agua (24 h)	0,50	%

Fuente: Adaptado de [1]

- Biorientación: Permite lograr propiedades mecánicas y de barrera con optimización de espesores.

- **Cristalización:** Permite lograr resistencia térmica para utilizar bandejas termoformadas en hornos a elevadas temperaturas de cocción.
- **Esterilización:** El PET resiste esterilización química con oxido de etileno y radiación gamma.
- **Factor barrera:** Se denomina factor barrera a la resistencia que ofrece el material con el que está constituido un envase, al paso de agentes exteriores al interior del mismo. Estos agentes pueden ser por ejemplo malos olores, gases ofensivos para el consumo humano, humedad, contaminación, etc. El PET se ha declarado excelente protector en el envasado de productos alimenticios, precisamente por su buen comportamiento barrera.
- **Transparencia:** La claridad y transparencia obtenida con este material, en su estado natural (sin colorantes) es muy alta, obteniéndose un elevado brillo. No obstante, puede ser coloreado con pigmentos de colores adecuados sin ningún inconveniente.
- **Peso:** El PET es más ligero en referencia con otros polímeros, por ejemplo: un envase requiere de una consistencia aceptable para proteger el producto que contiene y dar sensación de seguridad al consumidor. Tras haber realizado múltiples envases con este nuevo material, el peso medio de un envase de PET para agua de 1.5 [l] es de 35 [g], con este peso obtenemos la misma consistencia del mismo envase en PVC con 50[g]. Aproximadamente y en forma orientativa, el peso de un envase de PET es de un 25 % menos que el envase de PVC.
- **Degradación Térmica:** La temperatura soportable por el PET sin deformación ni degradación, aventaja a la de otros materiales, ya que este material se extrusiona a temperaturas superiores a 250 ° C, siendo su punto de fusión de 260 ° C.
- **Conformidad sanitaria:** El PET supera a multitud de materiales en cuanto a calidad sanitaria por sus excelentes cualidades en la conservación del producto. El PET es un poliéster y como tal es un producto químicamente inherente y sin aditivos. Los envases fabricados correctamente son totalmente inofensivos en contacto con los productos de consumo humano.
- **Reciclado y recuperación:** El PET puede ser fácilmente reciclado, principalmente por el proceso mecánico y ser nuevamente útil, aunque sus nuevos usos no se encuentran en contacto directo con alimentos y en su mayoría son productos simples.⁵

3.1.4. Usos típicos del PET

Debido a las propiedades anteriormente descritas, se desprende que el PET tiene usos en el ámbito textil y alimenticio. Estos usos son descritos a continuación

- **Textil:** Las fibras de PET son una aplicación importante del PET y se producen forzando el PET fundido a través de pequeños agujeros en un dado. La resistencia de la fibra se logra aplicando tensión para alinear las cadenas a través del estiramiento uniaxial [1]. Es utilizado para fabricar fibras sintéticas, principalmente poliéster (nombre común con el que se denomina al PET de grado textil) en sustitución de algunas como algodón o lino. Se emplea para la producción de fibras de confección (es muy utilizado en mezclas de diversos porcentajes con el algodón) y para rellenos de edredones o almohadas, además de manufacturar tejidos

⁵<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.cl/2011/05/pet.html>

industriales de sustentación para cauchos, lonas, bandas transportadoras y otros numerosos artículos.

- Botella: Es utilizado para fabricar botellas, debido principalmente a que el PET ofrece características favorables en cuanto a resistencia contra agentes químicos, gran transparencia, ligereza y comodidad en su manejo, lo cual conlleva un beneficio añadido para el consumidor final. Aunque comúnmente se asocia con el embotellado de las bebidas gaseosas, el PET tiene infinidad de usos dentro del sector de fabricación de envases. Además son las botellas la forma que se utiliza en esta memoria.
- Film: El PET se utiliza también en gran cantidad para la fabricación de film, en la práctica la mayoría de las películas fotográficas, de rayos X y de audio están hechas de PET. [2]

3.1.5. Envase PET

Los pellets de PET, son importados a Chile de cualquier país que refine petróleo y produzca PET, esto debido a las variaciones en el precio del crudo. El proceso de moldeo por soplado comienza con la inyección de PET en un molde frío para producir una preforma amorfa. Con el moldeo por soplado por inyección de una sola etapa, la preforma se transfiere directamente a una unidad de soplado de aire donde la preforma es estirada y soplada en un molde de botella. En el moldeo por soplado por inyección de dos etapas, la preforma se vuelve a calentar a aproximadamente $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ por encima de T_g y después se sopla en un molde de botella en una unidad de soplado de aire diferente. Enfriando el PET rápidamente desde la temperatura de fusión, hasta por debajo de la temperatura de transición vítrea puede producir un PET amorfo y transparente. [1]

Mediante un diagrama de flujo en la Figura 3.2, se describe el proceso completo de producción de un envase de PET, considerando desde la materia prima hasta el producto terminado. Además se adjunta la Figura 3.3, en la cual se puede apreciar claramente el proceso de inyección y moldeo por soplado.

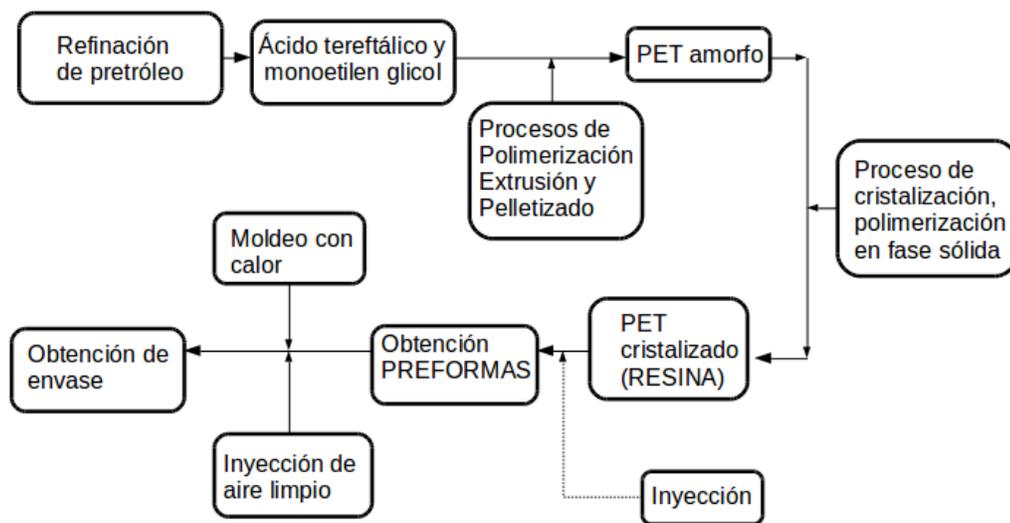


Figura 3.2: Diagrama de flujo de producción botella PET

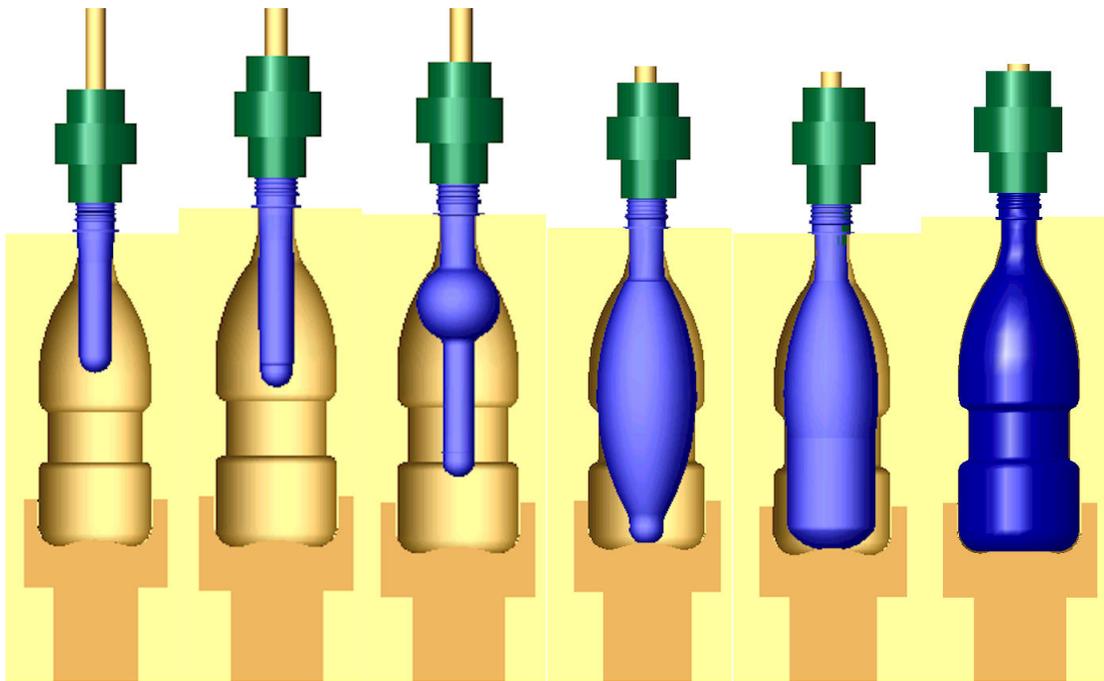


Figura 3.3: Proceso de inyección y moldeo por soplado

3.1.6. Reciclaje de PET

El reciclaje es el proceso a través del cual materiales ya utilizados (desperdicios), en este caso PET, son acondicionados con el propósito de integrarlos nuevamente a un ciclo productivo como materia prima.

El PET es un plástico no biodegradable en condiciones normales ya que no hay ningún organismo conocido que pueda consumir sus moléculas relativamente grandes. El primer esfuerzo en reciclar botellas de PET post consumo en el mundo fue en 1977 [1]. Procedimientos complicados y costosos deben ser operados para que el PET se degrade biológicamente.

Existen tres maneras diferentes de aprovechar los envases de PET una vez que terminó su vida útil: someterlos a un reciclado mecánico, a un reciclado químico, o a un reciclado energético empleándolos como fuente de energía.

- **Reciclado mecánico:** El reciclado mecánico de PET post consumo consiste normalmente en la eliminación de la contaminación mediante el proceso de clasificación, trituración, separación secundaria y lavado, secado y fundido. En la Figura 3.4 se puede ver simplificada dicho proceso.

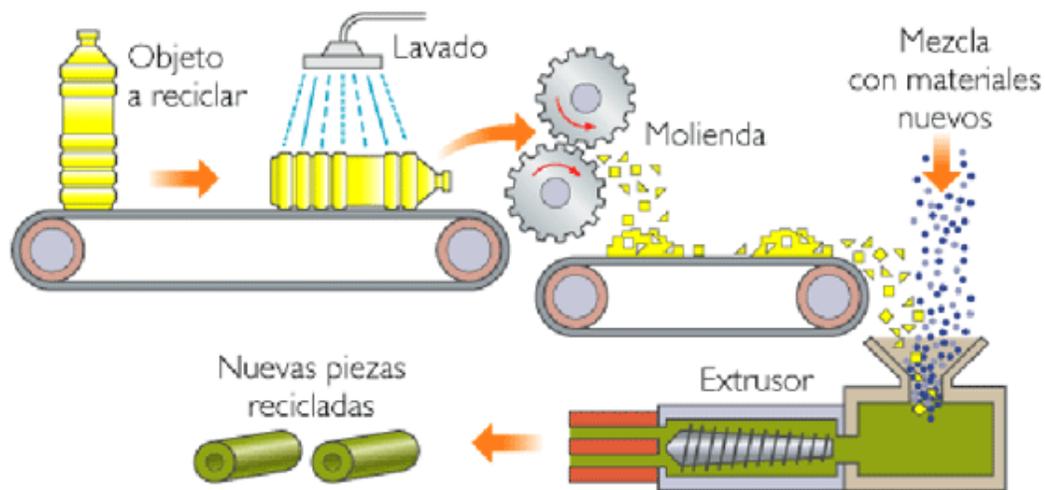


Figura 3.4: Reciclado Mecánico

Separación por flotación: Se clasifican cuatro métodos en términos de flotación de plásticos: flotación gamma, adsorción de reactivos, modificación de superficie y regulación física. La adsorción de reactivos recibe más atención, y se realizaron numerosos esfuerzos para la separación por flotación de plásticos, pero los estudios fundamentales reportados sobre este tema son insuficientes. La modificación de la superficie es más factible para ayudar a la separación por flotación de plásticos específicos. Una combinación de modificación superficial y adsorción de reactivos puede ser una estrategia eficaz para la separación por flotación de residuos de múltiples componentes plásticos [3]. Los experimentos de factor único confirman que las condiciones óptimas de pretratamiento alcalino son NaOH al 10% en peso, 20 minutos y 70 °C. Después del pretratamiento alcalino en condiciones óptimas, la separación por flotación PET de ABS, PS, PVC o PC se consiguió con alta pureza y eficiencia. La pureza del PET es de hasta el 98,46% y la recuperación es superior al 92,47% [4].

Lavado: Hay 2 maneras mediante las cuales las escamas de PET postconsumo son lavadas: Lavado acuoso que consiste en dos pasos; Un lavado caliente con una solución de NaOH al 2% y un detergente a 80 °C seguido por un lavado en frío con agua solamente. El lavado con disolvente para el que se ha indicado que el tetracloroetileno (TCE) es adecuado para lavar las escamas de PET.

Secado: Se considera un paso esencial en el reciclaje PET postconsumo. Minimizar el contenido de humedad de las escamas de PET postconsumo reduce el efecto de degradación hidrolítica y conduce a una mayor resistencia a la fusión de R-PET. La mayoría de los fabricantes de PET postconsumo utilizan condiciones de secado que van desde 140 a 170 °C y de 3 a 7 h. En condiciones de funcionamiento típicas, no se permite que más de 50 ppm de agua estén presentes en las escamas de PET postconsumo y esto se logra normalmente usando secadores que funcionan a 170°C durante 6 h, antes de alimentar el extrusor.

Proceso de fundición: Las escamas de PET postconsumo se pueden procesar en un sistema de extrusión normal en pellets útiles. Sin embargo, debido a los contaminantes mencionados anteriormente que están presentes en los escamas de PET post consumo, los gránulos pro-

Tabla 3.2: Poder Calorífico de diversos combustibles

Combustible	MJ/kg
Poliiolefinas	46,34
Carbón	24,45
PET	23,29
Papel periódico	18,63
Basura húmeda	6,52

Fuente: Adaptado de [5]

ducidos tienen un Peso Molecular (PM) bajo. La extrusión de copos de PET a 280°C con la presencia de los contaminantes antes mencionados reduce en PM debido a reacciones de degradación.

La principal ventaja del reciclaje mecánico de PET postconsumo es el hecho de que el proceso es relativamente simple, respetuoso con el medio ambiente y requiere baja inversión. La principal desventaja del reciclado mecánico es la reducción de PM durante el procesamiento, también conocida como la reducción de la viscosidad intrínseca. La conciencia de este problema para los investigadores y los fabricantes se generó en las últimas dos décadas para encontrar maneras de mantener la viscosidad intrínseca durante el procesamiento PET postconsumo.

Aumento de viscosidad intrínseca: A la temperatura de procesamiento (280 °C), se producen reacciones de hidrólisis entre agua y PET, resultando en cadenas más cortas, con grupos terminales ácido e hidroxiléster. La escisión térmica del enlace de éster de PET da lugar también a cadenas de PET más cortas con grupos terminales ácido y vinil éster.

La reducción de la viscosidad intrínseca de las escamas de PET post consumo ha sido objeto de estudio de muchos investigadores. Diferentes métodos y procesos que han sido reportados para restaurar o mantener la viscosidad intrínseca durante el proceso por ejemplo: reprocesamiento en vacío, estabilizadores, polimerización en estado sólido y extensión de cadena. [1]

- **Reciclado químico:** El reciclado químico (quimiólisis) de PET post consumo se logra por despolimerización total en monómeros o despolimerización parcial en oligómeros. Los productos químicos utilizados para la despolimerización de PET incluyen agua (hidrólisis), metanol (metanólisis) y EG (glucólisis). La principal desventaja de la quimiólisis de PET es su elevado coste. [1]
- **Reciclaje energético:** Como ya se mencionó el PET es un polímero que está formado sólo por átomos de carbono, oxígeno e hidrógeno, por lo cual al ser quemado produce sólo dióxido de carbono y agua, ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$) con desprendimiento de energía. Es posible aprovechar este material como combustible en los casos donde por costos de acopio y transporte sea inviable algún otro procedimiento de reciclado, para calefacción de asilos, escuelas y otros usos como la fabricación de ladrillos, etc. Un kilogramo de PET libera una energía de 23,29 [MJ], en la Tabla 3.2 se compara dicha energía respecto a la que tienen otros combustibles, y algunos otros derivados del petróleo. [5]

3.2. Ley Marco para la Gestión de Residuos, Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento al Reciclaje (REP)

El proyecto de ley establece algunos elementos básicos, como principios, definiciones y obligaciones de generadores, gestores, consumidores, importadores y exportadores de residuos y productores, consumidores, distribuidores y comercializadores de productos prioritarios. El proyecto no altera la legislación sanitaria ni municipal existente en materia de residuos, sino que la reconoce y construye sobre ella.

El proyecto de ley introduce la Responsabilidad Extendida del Productor (REP), la cual obliga a empresas productoras (fabricantes e importadoras) de productos prioritarios a hacerse cargo de sus productos una vez terminada su vida útil. La ley especifica los siguientes productos prioritarios: Aceites lubricantes, Aparatos eléctricos y electrónicos, incluidas las lámparas o ampollitas, Diarios, periódicos y revistas, Envases y Embalajes, Neumáticos, Pilas y baterías y Plaguicidas caducados. Se establecerán metas para la recolección y valorización de estos residuos, creando así nuevos negocios, y disminuyendo su disposición final. Además, la REP obliga a los productores a considerar los costos para el manejo de su producto al momento de convertirse en residuo, generando así un incentivo de prevención⁶.

Para apoyar esta tarea, la ley contempla un Fondo del Reciclaje por \$2.000 millones en régimen, destinado a financiar proyectos y programas para prevenir la generación de residuos y fomentar su reciclaje, que sean ejecutados por Municipalidades o asociaciones de estas. Respecto de envases y embalajes, estos conforman más del 10% de los residuos sólidos municipales. Aunque ya hay reciclaje de varios de estos productos, como vidrio, aluminio y plástico PET, no es un servicio que exista en todo el país debido a los costos de transporte desde regiones más alejadas de Santiago. La ley debiera crear un nuevo mercado en esta materia e incorporar envases que hoy no están siendo reciclados. Se establecerían metas diferenciadas de acuerdo al tipo de material (papel y cartón, vidrio, metal, plástico, etc)⁷.

La ley realiza las siguientes definiciones importantes:

- Gestor: Persona natural o jurídica, pública o privada, que realiza cualquiera de las operaciones de manejo de residuos y que se encuentra autorizada y registrada en conformidad a la normativa vigente.
- Pretratamiento: Operaciones físicas preparatorias o previas a la valorización o eliminación, tales como separación, desembalaje, corte, trituración, compactación, mezclado, lavado y empaque, entre otros, destinadas a reducir su volumen, facilitar su manipulación o potenciar su valorización.
- Reciclador de base: Persona natural que, mediante el uso de la técnica artesanal y semi industrial, se dedica en forma directa y habitual a la recolección selectiva de residuos domici-

⁶<http://www.mma.gob.cl/1304/w3-propertyvalue-16542.html>

⁷<http://portal.mma.gob.cl/nueva-ley-de-reciclaje-impone-a-las-empresas-el-financiamiento-y-metas-de-recoleccion-y-valorizacion-de-los-residuos-que-generan-sus-productos/>

liarios o asimilables y a la gestión de instalaciones de recepción y almacenamiento de tales residuos, incluyendo su clasificación y pretratamiento. Sin perjuicio de lo anterior, se considerarán también como recicladores de base las personas jurídicas que estén compuestas exclusivamente por personas naturales registradas como recicladores de base, en conformidad al artículo 37, podrán participar de la gestión de residuos para el cumplimiento de las metas. Para registrarse, deberán estar debidamente certificados en el marco del Sistema Nacional de Certificación de Competencias Laborales establecido en la ley N° 20.267. Durante los primeros cinco años de vigencia de esta ley, los recicladores de base podrán registrarse sin contar con la certificación exigida en el artículo 32. Transcurrido dicho plazo sin haber acreditado este requisito ante el Ministerio, caducará su inscripción.

- **Recolección:** Operación consistente en recoger residuos, incluido su almacenamiento inicial, con el objeto de transportarlos a una instalación de almacenamiento, una instalación de valorización o de eliminación, según corresponda. La recolección de residuos separados en origen se denomina diferenciada o selectiva.
- **Sistema de gestión:** Mecanismo instrumental para que los productores, individual o colectivamente, den cumplimiento a las obligaciones establecidas en el marco de la responsabilidad extendida del productor, a través de la implementación de un plan de gestión.

Además fija obligaciones para los gestores de residuos: Todo gestor deberá manejar los residuos de manera ambientalmente racional, aplicando las mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales, en conformidad a la normativa vigente, y contar con la o las autorizaciones correspondientes. Asimismo, todo gestor deberá declarar, a través del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes, al menos, el tipo, cantidad, costos, tarifa del servicio, origen, tratamiento y destino de los residuos, de acuerdo a lo dispuesto en el reglamento a que se refiere el artículo 70, letra p), de la ley N° 19.300.

Y todo sistema de gestión deberá:

- Constituir y mantener vigente fianza, seguro u otra garantía para asegurar el cumplimiento de la obligación a que se refiere el artículo 9°, letra c), según lo dispuesto en el decreto supremo que establezca las metas y otras obligaciones asociadas a cada producto prioritario, sólo tratándose de un sistema colectivo de gestión.
- Celebrar los convenios necesarios con gestores registrados y autorizados, Municipalidades y/o asociaciones municipales con personalidad jurídica en los términos establecidos en los artículos 24 y 25.
- Entregar al Ministerio los informes de avance o finales, a través del Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes, sobre el cumplimiento de las metas y otras obligaciones asociadas, en los términos establecidos en el respectivo decreto supremo. La Superintendencia podrá requerir que los informes sean certificados por un auditor externo. El informe final de cumplimiento deberá contener, al menos, la cantidad de productos prioritarios comercializados por los productores que integran el sistema en el país en el período inmediatamente anterior; una descripción de las actividades realizadas; el costo de la gestión de residuos, en el caso de un sistema individual, y la tarifa correspondiente al costo de la gestión de residuos y su fórmula de cálculo, en el caso de un sistema colectivo; y el cumplimiento de las metas de recolección y valorización, así como de las obligaciones asociadas, si corresponde.

- Proporcionar al Ministerio o a la Superintendencia toda información adicional que le sea requerida por éstos, referida al cumplimiento de las obligaciones establecidas en el marco de la responsabilidad extendida del productor.

3.3. Recolección y Recolectores Informales

3.3.1. Experiencia internacional

El concepto de valorización de residuos es más amplio que el concepto de reciclaje porque tiene en cuenta la comercialización de materiales reciclados. En los países en vías de desarrollo, las actividades de valorización suelen ser realizadas por cadenas de valor informales de reciclaje [6].

La recuperación informal de materiales reciclables constituye una estrategia de sobrevivencia para individuos pobres de la región. El Banco Mundial ha estimado que hasta el 2% de la población de los países subdesarrollados sobrevive de actividades de reciclaje informal [7]. La organización Panamericana de la salud estima que 135.000 personas en América Latina sobreviven del reciclaje informal. Sin embargo tan solo en Colombia el número de familias de recicladores es de 50.000 [8].

Uno de los mayores desafíos en el manejo de residuos sólidos en países en vías de desarrollo es como trabajar mejor con el sector informal para aumentar su sustento, condiciones de trabajo y eficiencia en el reciclado. Las experiencias muestran que puede ser altamente contraproducente establecer nuevos sistemas formales de reciclaje de residuos, sin tomar en cuenta los sistemas informales que ya existen. Además el sector informal es caracterizado por su pequeña escala, trabajo intensivo, ampliamente desregulado y sin registros, manufactura y prestación de servicios con escasa tecnología. Y en algunos países, el sector informal directamente provee el servicio de recolección de residuos en áreas donde no hay sistemas municipales formales [9]. Varias cooperativas de recicladores se han dado cuenta de los límites de ganancias con la recuperación de materiales y su venta sin ningún procesamiento. Con el fin de incrementar sus ganancias, varias de ellas han emprendido acciones para aumentar el valor agregado de los materiales al obtener empacadoras y equipo para procesar plástico y vidrio [10].

Como regla general, mientras menos organizado está el sector informal de reciclaje, menos gente involucrada es capaz de agregar valor al material que recolectan, y más vulnerables son a la explotación de intermediarios. Por ende organizar y entrenar a los recicladores informales como micro y pequeña empresa es una forma muy efectiva de aumentar su capacidad para agregar valor a los materiales recolectados. Desde una perspectiva macroeconómica, se adaptan bien a las condiciones imperantes, esto es, abundante oferta de mano de obra, pero escaso capital: minimizan los gastos de capital y maximizan el poder de las manos.

Un primer paso necesario para las autoridades es reconocer los beneficios económicos, sociales y ambientales que resultan del reciclaje informal. El mayor desafío es cambiar la percepción y actitud, particularmente de los funcionarios locales y también del público general, hacia aquellos que

participan en el reciclaje informal de residuos. [9]

En los países desarrollados el reciclaje de materiales tiende a realizarse mediante programas oficiales sancionados y administrados por las municipalidades, mientras que en el mundo subdesarrollado la mayoría de las actividades de recuperación las efectúan los recicladores informales. Como demuestran los casos de Colombia, Brasil y México, las cooperativas de recicladores pueden ser un medio para promover un desarrollo de base y de disminuir el impacto ambiental negativo de los procesos de producción y consumo de una forma que ayude a resolver el problema del manejo de residuos sólidos de forma económicamente viable, socialmente deseable y ambientalmente adecuada. El reciclaje informal puede contribuir en el logro de un desarrollo sostenible. Apoyar y promover el reciclaje informal en América Latina sería un paso en la dirección correcta [10].

3.3.2. Experiencia nacional

A mediados del siglo XIX la basura de la ciudad de Santiago era llevada en carretones a un lugar en la ribera sur del río Mapocho, entre las calles Cueto y Manuel Rodríguez. Ese era el botadero oficial. Tanto allí como en otros sitios eriazos donde se tiraba la basura, se veían personas buscando alimento o recuperando materiales que luego eran reutilizados o vendidos. Son los primeros recolectores de residuos urbanos que registra la historia de Chile. [11]

Hasta 1900 se les conocía como hueseros o traperos. Posteriormente se les denominó chatarreros, botelleros, cartoneros y recolectores. Hoy son reconocidos como recicladores y la propuesta de ley REP los considera Gestores de Residuos. Para poder ser parte de los nuevos sistemas de gestión deben registrarse y estar debidamente certificados en el Sistema Nacional de Certificación Competencias Laborales de la ley 20.267.

El reciclador no es un sujeto que simplemente circula por la ciudad encontrándose con desechos recuperables o reducibles, sino que sigue patrones y tiempos estratégicos de producción. El reciclador aprende a conocer y a manejar a su favor los tiempos y los ritmos de producción de residuos, aumentando así las posibilidades de recuperación. [12]

En Chile, el proceso de reciclaje del PET es realizado en diferentes sectores: domiciliario, comercial e industrial. El sector domiciliario corresponde a los hogares, siendo estos residuos recolectados en camiones municipales y en algunos casos entregados en puntos de reciclaje, se caracterizan por estar sucios y generar una dificultad para reciclarlos. El sector comercial son todos los locales comerciales donde se generen residuos, pero estos se encuentran más limpios que los que se generan en el hogar y además son de fácil separación, a su vez son recolectados por camiones municipales o por organismos recicladores. Los residuos industriales, son los que se generan directamente en la industria, estos son aún más limpios que los comerciales y mucho más específicos, normalmente estos residuos son reciclados directamente como materia prima en el proceso industrial, o vendidos a otra industria que los utilice como materia prima.

El proceso de reciclaje tiene varios actores, partiendo desde el consumidor que desecha una botella, luego está la recolección del residuo por parte de los RRBB, los cuales separan y clasifican

más precisamente dichos residuos, con la motivación de vender estos residuos a un intermediario o empresa recicladora.

El reciclaje más visible en el país se realiza mediante puntos limpios, los cuales se encuentran muy separados unos de otros y en la mayoría de los casos alejados de los consumidores. Por otro lado existen municipalidades que ofrecen servicios de recolección diferenciada en los hogares, en camiones. Y finalmente para el caso de las botellas PET, estas son recolectadas en su mayoría por privados, los cuales instalan sus propios contenedores en puntos de alta afluencia de público o en plazas cercanas a zonas residenciales desde dónde los hogares llenan los contenedores, realizando recolección solo de dichos contenedores mediante camiones 3/4 o camionetas.

Debido a la forma en que se realiza el reciclaje y la recolección de los residuos a nivel nacional, se opta por la opción de evaluar un sistema de recolección por puntos de recolección, como ya lo hacen los RRBB de Santiago.

4. Resultados

4.1. Línea de Base

La línea de base es una de las partes fundamentales de la metodología de trabajo, consiste en la definición de diversos indicadores los cuales permitan reflejar cuantitativamente parte de la realidad de una población objetivo, su zona de influencia y el contexto en el que se desarrolla [13], en esta se plasman los indicadores y sus valores actuales. Además posterior a la ejecución del proyecto permiten contrastar estos indicadores de manera cuantitativa. Toda esta información y la orientación que tienen estos indicadores se desprende principalmente, de las entrevistas, las cuales reflejan los intereses actuales de los diversos actores del ecosistema del reciclaje, en particular de quienes son cercanos a las botellas PET.

Se realizan 6 entrevistas sobre el tema de trabajo, que fueron con: Ximena Gonzalez del Ministerio del Medio Ambiente (MMA) quien aclara el panorama actual del reciclaje de botellas PET, explicando qué empresas reciclan y aclarando dudas sobre la Ley REP. Diego Villalobos intermediario quien tiene su compra-venta de residuos y recibe algunos camiones de parte de la Municipalidad de Providencia. Nicolás Macan de Tradepro Chile quien también es un intermediario, pero que se encuentra a una escala mucho mayor de gestión de residuos, Mayling Yuen de la Fundación Casa de la Paz, quien propuso algunos indicadores y otorgó un catastro que permitió tener datos sistematizados sobre la realidad de los RRBB de Santiago. Finalmente una reunión con Cristian Burgos e Ignacio Muñoz, jefe de planta y gerente general de RECIPET, respectivamente, esto permite conocer la empresa, ver las líneas de proceso del material reciclado y por otro lado conocer los intereses de la empresa respecto a la nueva ley REP. Por último una reunión con Maria Jose Gutierrez quien es una gestora de residuos y trabaja recolectando botellas PET.

Por otro lado están las fuentes escritas, las cuales son catastros, reportajes, informes y diagnósticos ambientales. Un dato relevante del contexto social con el que se está trabajando es la diversidad de todos los recicladores, respecto a sus intereses, proyecciones y condiciones laborales. Parte de esta diversidad es la que se puede reflejar en los datos obtenidos para cada indicador.

Los indicadores con los que se trabajará son seleccionados en base a las entrevistas y a bibliografía consultada como [14] [12]:

- Número de personas que reciclan:

Según el Catastro sociolaboral de recicladores de la región metropolitana, en el cual se contemplan a los recicladores de la provincia de Santiago, son cerca de 60.000 personas a nivel nacional quienes recolectan, clasifican y venden residuos. De este numero solo un 10% trabaja recolectando botellas PET [12], por ende se estima que el **número de personas es 6.000**

- Escolaridad de recicladores:

La escolaridad de los recicladores si bien no es un punto que sea indispensable para análisis técnicos posteriores, es un dato que puede variar, ya que si se formaliza el trabajo de recolección y venta de residuos, la escolaridad de dichos trabajadores debe ir en aumento. Y así mismo esta formación escolar les permita trabajar con diferentes empresas demandantes de material, las cuales exigen en ciertos casos iniciación de actividades, boletas e incluso

factura, lo cual implica una contabilidad de empresa. Para poder cumplir estas exigencias no todos los recicladores se encuentran en las mismas condiciones, teniendo desde recicladores sin educación básica, hasta algunos con postgrado como se puede ver en la Figura 4.1. Un importante grupo dentro de los recicladores no termino sus estudios de nivel escolar. Casi el 34 %, los RRBB tienen su educación básica incompleta.

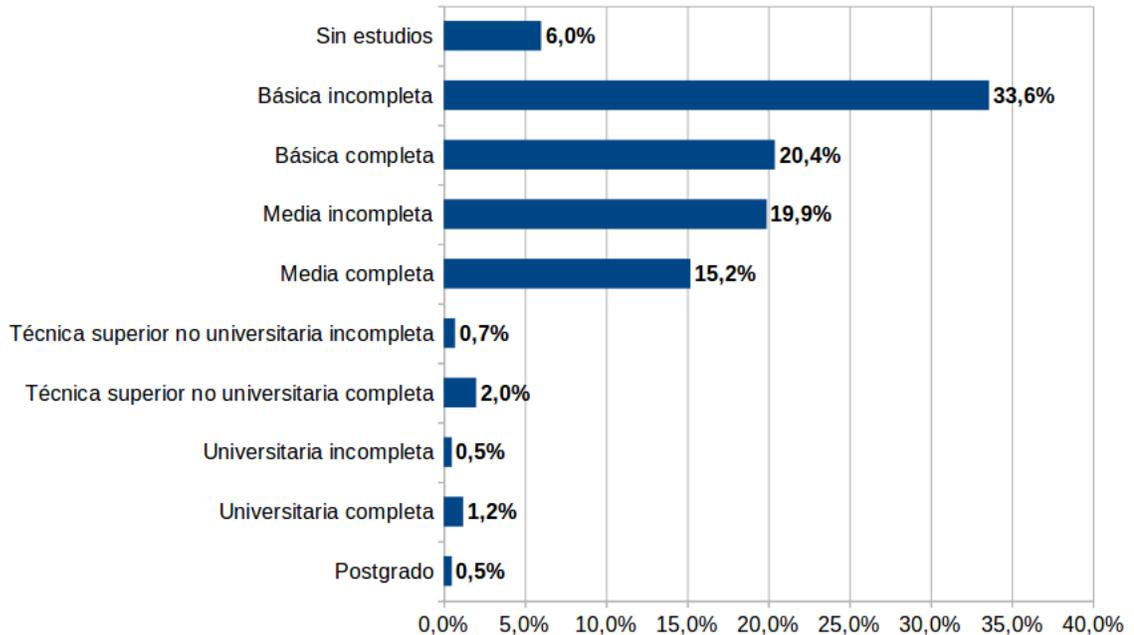


Figura 4.1: Nivel educacional más alto que alcanzaron los RRBB

■ Sueldo o ganancias mensuales de recicladores:

Los RRBB trabajan en este rubro ya que les permite tener un sueldo cercano al mínimo y aprovisionarse con elementos de la basura que no están totalmente descompuesto, así adornando y equipando sus hogares. Por esto el sueldo o ganancias que obtengan los recicladores en la actualidad se busca que aumente, ya que al agregar un proceso en su cadena de producción, en consecuencia se debe agregar valor al producto que venden. Del catastro se desprende que 3 de cada 4 encuestados solo trabaja reciclando, el **promedio de sueldos** de la muestra es de **\$170.000[CLP]**, aproximadamente un **75 %** no supera los **\$200.000[CLP]** en ingresos y solo **17 %** señala que gana entre **200.000 y 300.000 [CLP]**. Datos más específicos se pueden ver en la Figura 4.2.

Cabe destacar que estos ingresos son debido a todos los materiales que recuperan y no solo al reciclaje de PET. Específicamente por la venta mensual de botellas PET los recicladores ganan en promedio **\$58.957[CLP]** [12]

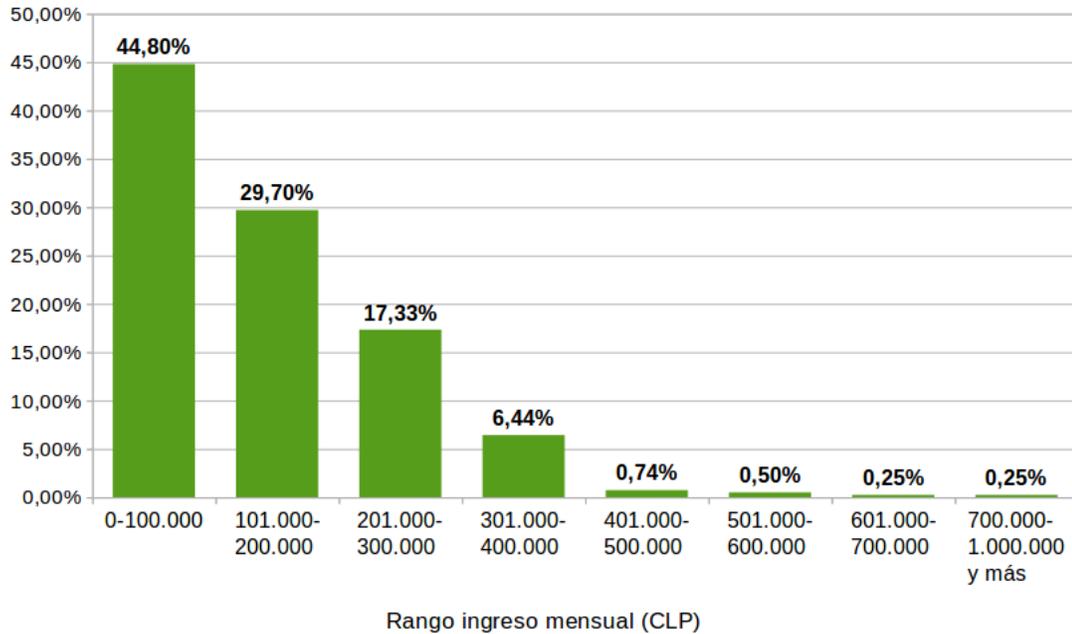


Figura 4.2: Cuanto gana en el trabajo de reciclaje al mes

- Valor del material recuperado y clasificado por kilo:
 Precio al que compran los demandantes el kilogramo de PET, en sus diferentes niveles de procesamiento, para poder comprarlo luego de una implementación masiva y para estimar la factibilidad económica del proyecto. Existen 2 demandantes posibles para los recicladores de base, quienes venden botellas PET sin etiqueta ni tapa, estos son: los intermediarios a quienes les venden un **82.1 %** de las veces, cuya función en el proceso de reciclaje es la compra de residuos a diversas fuentes, incluyendo los RRBB, para luego venderlo en mayores cantidades a una empresa de reciclaje nacional o a otro intermediario que vende desechos al extranjero. Y el otro caso es cuando el reciclador de base vende directamente a la empresa recicladora, que ocurre solo un **17.9 %** de las veces. El precio al cual lo compra el intermediario es cercano a los **\$100[CLP/kg]** y el precio al que lo compra la empresa recicladora es del orden de **\$250[CLP/kg]** [12], este precio puede aumentar si se venden mayores cantidades de material y además varía dependiendo de cada empresa. En el caso de RECIPET estos compran a **\$320 [CLP/kg]** las botellas transparentes y sin etiqueta, sobre 1 tonelada, en contraste a los **\$300[CLP/kg]** que paga la empresa Integrity.
- Principal beneficiario del proceso de reciclaje:
 Se identifica cual es el actor que se beneficia mayoritariamente con el proceso actual de reciclaje, si las organizaciones de acopio, los transportistas, los recicladores de base, las compraventa de desechos, los intermediarios que venden estos desechos, o finalmente la empresa recicladora. Esto ya que en la actualidad los intermediarios son quienes más dinero ganan solo por comprar, acopiar y vender dichos residuos a mayor escala. En una comparación con los recicladores de base, quienes recolectan el material en las calles y/o algunos basureros, respecto a los intermediarios, se estima que en ocasiones el precio de compra fijado por el intermediario llega a tener una diferencia de hasta el **70 %** del precio ofrecido por las Em-

presas Recicladoras, RECI PET e INTEGRITY. En el caso de las botellas PET, el RRBB le vende al intermediario a **\$100[CLP/kg]**, mientras que el intermediario lo vende a la empresa recicladora sobre **\$250[CLP/kg]**, diferencia del **60 %** [15] cómo se puede ver en la Tabla 4.1. A su vez se descarta que las empresas recicladoras sean las que mayor beneficio obtengan, debido a que estas no son empresas independientes y se encuentran relacionadas a holdings empresariales.

Tabla 4.1: Precio de materiales de intermediarios v/s empresas recicladoras

Material	Precio Intermediario \$[CLP/kg]	Precio Empresa Recicladora \$[CLP/kg]	Diferencia %
Cartón	\$30	\$80	63 %
Papel	\$30	\$100	70 %
PET	\$100	\$250	60 %
Vidrio	\$15	\$22	32 %

Fuente: adaptado de [15]

- Toneladas de residuos recolectados al día o al mes:
Se calculan las toneladas de residuos y la cantidad de días y horas que trabajan. Se determina que los recicladores de la provincia de Santiago trabajan mayoritariamente todos los días de la semana y absolutamente todos los meses del año, un promedio de 5.4 horas diarias (0.7 jornadas laborales estándar diarias). Los encuestados declaran trabajar reciclando en 30 de las 32 comunas que integran la provincia de Santiago. Un reciclador o recicladora de base puede recuperar entre 2 y 10 toneladas de residuos reciclables y/o recuperables al mes. En el caso de los recicladores de PET estos declaran ir a vender su acopio de botellas PET postconsumo cada 18 días y vender 167 kg cada vez, en resumen venden 2 veces al mes y en total son 334 kg acopiados [12], en promedio.
- Porcentaje de residuos que va a relleno sanitario y vertederos:
Los envases y embalajes aportan más del 2% del PIB (Producto Interno Bruto) Chileno. De este 2% los materiales plásticos tienen una participación del 29% (355.934 toneladas), los cuales tienen particularmente una baja tasa de reciclaje del 12% al compararlo con el 52% de promedio de reciclaje de envases y embalajes generados en Chile. Al año 2010 en Chile se generó un total de 6.6 millones de toneladas de residuos sólidos municipales (RSM), de lo cual se recicla aproximadamente un 10% (sin residuos orgánicos). A su recuperación contribuyen en un 8.6% los recicladores de base, cerca de un 1% las instituciones de beneficencia y ONG's, y menos de un 1% los proyectos municipales de valorización. Se debe considerar que el consumo actual de PET es de **57.000** toneladas y se estima que actualmente se reciclan cerca de **9.600 (16.84 %)** toneladas de origen nacional, lo que significa que existe aún un alto porcentaje de PET con potencial de ser reciclado, correspondiente al 83.16%. [16]
- Tecnología, maquinaria o infraestructura utilizada y precio:
Tecnología que actualmente utilizan los recicladores y cual es el costo de esta, ya que si bien ahora no existe una gran inversión por parte de estos en tecnología, debe compararse para saber si este proceso que se proyecta, contribuye al acercamiento tecnológico de los recicladores. Las tecnologías que utilizan los RRBB son mayoritariamente las que obtienen mediante apoyo público o privado, que representan solo un 8% del total, entre estas se encuentran maquinaria para enfardar residuos (4%), credencial para facilitar su trabajo (6%),

vehículos motorizados (2%), triciclos (21%) e infraestructura para centro de acopio (4%). Los costos de todos estos apoyos son bastante diferentes, se puede notar que un mayor porcentaje de los recicladores recibe de apoyo un triciclo para su trabajo, el cual tiene un costo aproximado de \$170.000 pesos chilenos [12].

■ **Porcentaje de PET post consumo importado:**

La cantidad de desechos necesarios para alimentar a la planta de reciclaje RECIPET, es un **80 %** importado de otros países debido a la falta de recolección y separación de residuos que existe en el país, teniendo que aprovechar otros ecosistemas de recolección de residuos más avanzados que se encuentran disponibles en los países vecinos. En particular se ha determinado que existe un flujo de importación de PET post consumo que ingresa al país para la industria de fabricación de envases, el que alcanzó cerca de las 5.000 toneladas en 2009 y en el 2010 llegó a 8.600 toneladas. Según datos de RECIPET, tienen una capacidad instalada de 700[ton/mes], anteriormente importaban 150[ton/mes], en la actualidad son cerca de 400[ton/mes], y es importante destacar que esta empresa no produce al 100% de su capacidad.

Para resumir toda la información recopilada se presenta la Tabla 4.2, la cual permite de manera rápida ver los antecedentes cuantitativos del entorno de reciclaje de botellas PET en Santiago. De estos indicadores se puede ver el número de la población objetivo, la escolaridad es muy importante para la acreditación de competencias de los RRBB, lo cual es normado mediante la nueva ley REP, además es importante disminuir la cantidad de PET que es importado, para así fomentar realmente el reciclaje y recolección separada de residuos en el país.

Por otro lado, para la recolección de las botellas PET se utilizan los 3 métodos mencionados en la sección anterior: Puntos Limpios, Camiones de recolección municipal y Camiones de recolección privados. Aunque este es un punto relevante para generar una línea de base sobre reciclaje de PET, no es posible acceder a dicha información, y solo se conocen dichos métodos de recolección, y que este residuo es vendido a las empresas RECIPET e Integrity.

Tabla 4.2: Resumen línea de Base

Indicador	Valor
Número de personas que reciclan	6.000
Escolaridad de los recicladores	Básica incompleta
Sueldo mensual (\$ CLP)	58.957
Valor del material recuperado (\$ CLP/kg)	100
Principal beneficiado con el proceso	Intermediarios
Toneladas recolectadas al mes	0,167
Porcentaje de residuos no reciclado	83 %
Porcentaje PET desecho importado	80 %

Fuente: Elaboración propia

4.2. Ingeniería de Perfil

La ingeniería de perfil es un estudio que se realiza previo a la ingeniería básica del proyecto, en otras palabras es una ingeniería conceptual extendida, permitiendo tener un acercamiento a la inversión con aproximadamente un 30% de precisión. Además esta comprende los estudios iniciales, estudios generales de entorno, estudios de dimensionamiento principal (capacidad, recursos, equipos principales), layout, evaluación económica (OPEX, CAPEX y flujo de caja).

4.2.1. Prefactibilidad técnica

La prefactibilidad técnica, tiene como fin evaluar técnicamente el proyecto, en este caso correspondiente a la recolección y pretratamiento de las botellas PET, esta evaluación contempla descripción del proceso, definición de detalles de las etapas y maquinaria del proceso, obtención de la materia prima e insumos, definición de producto intermedio, cálculo de consumo energético, estimación de mano de obra, dimensiones de la fábrica y layout tentativo, localización propuesta de la planta y logística de los procesos.

Estudios Generales de Entorno

Estudios generales de entorno, de tramitaciones, de normativas aplicables, etc. Contemplando en estos la necesidad de permisos o normas que se deban cumplir.

El **marco normativo** en Chile asociado a residuos sólido cronológicamente:

Data desde el año 1968 con la introducción del Código Sanitario, el cual regula aspectos relacionados con la salud de los habitantes y algunos aspectos específicos asociados a higiene y seguridad ambiental laboral.

En el año 1992 comienza a regir el D.S. N°685 con el cual Chile ratifica el Convenio de Basilea, que se refiere a regulaciones respecto del movimiento fronterizo de desechos.

En el año 1994 entra en vigencia la Ley 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente, la que establece un marco en el cual se debe desarrollar el actuar del sector público y privado.

En el año 2000 comienza a regir el D.S. N°594 sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo (proviene del D.S. 745 del año 1993).

En el año 2008 entra en vigencia el D.S. N°189 que regula las condiciones sanitarias y de seguridad básicas en los rellenos sanitarios.

En el año 2010, comienzan a regir dos reglamentos; el D.S. N°4 para el manejo de lodos generados en plantas de tratamiento de aguas servidas, y el D.S. N°6 sobre el manejo de residuos generados en establecimientos de atención de salud. Además, en el mismo año Chile pasa a ser miembro pleno de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE), condición que supone una mejora en el estándar de políticas públicas en materia ambiental, en particular en materia de gestión de residuos.

En julio de 2016 es publicada la Ley N 20.920 que establece un marco para la Gestión de Residuos y Responsabilidad Extendida del Productor. Cabe destacar que esta ley se implementará por pasos,

el año 2016 es de ajuste de normativas.

Además en Noviembre de 2016 se aprueba y publica la NCh3407, Plásticos reciclados- Caracterización de los reciclados de poli(tereftalato de etileno) (PET), en esta se normalizan los requerimientos que tendrá el pretratamiento de las botellas PET. En la Tabla 4.3 se presentan las principales características requeridas, que son necesarias para caracterizar el reciclado de PET en general. Y las características opcionales, las que son necesarias para caracterizar el reciclado de PET de acuerdo con las especificaciones del comprador y según las aplicaciones a las que destinará el material reciclado.

Tabla 4.3: Características NCh3407

Características	Unidad	Método de ensayo	Comentarios
Requerida			
Forma		Visual	Escamas, granza
Determinación del tamaño máximo de partícula	mm		Dado por el tamaño del tamiz
Contenido de partícula fina	%	Determinación del tamaño y distribución de las escamas de PET-R por tamizado	Valor en porcentaje de partículas que pasan el tamiz de 1 mm
Color		Inspección visual	Monocromo, transparente, mezcla
Contenido de agua	%	EN ISO 15512	
Contenido de PVC	mg/kg	Método mediante degradación térmica del PVC a 220°C	
Contenido de poliolefinas	mg/kg	Método mediante la fusión de las poliolefinas	
Opcional			
Determinación del índice de fluidez en masa (MFR)		EN ISO 1133-2	
Viscosidad intrínseca (I.V.)	dl/g	ISO 1628-5	
Alcalinidad	pH	Método potenciométrico	
Filtrabilidad	MPa/(h*cm2)	Método que utiliza el aumento de presión en una extrusora con un filtro.	
Otro contenido residual	mg/kg		Análisis según el método adecuado, ej, FTIR, XRF, DSC
Color	Color según valores		
de L, a, b	Colorímetro según EN ISO 11664-4	Discos moldeados por inyección de escamas, granza	

Fuente: Adaptado de NCh3407

Esto permite tener una noción general del panorama normativo y legislativo nacional, con énfasis en las promulgaciones más recientes, como la ley REP y la NCh3407, ya que sientan las bases del nuevo ecosistema de reciclaje, en especial para las botellas PET.

Ubicación de planta

La planta de pretratamiento o centro de acopio de material ha sido localizado en la Región Metropolitana de Santiago, la dirección es Tercera Avenida 490, Padre Hurtado. En la Figura 4.3 se puede ver un mapa de la ubicación del lugar.

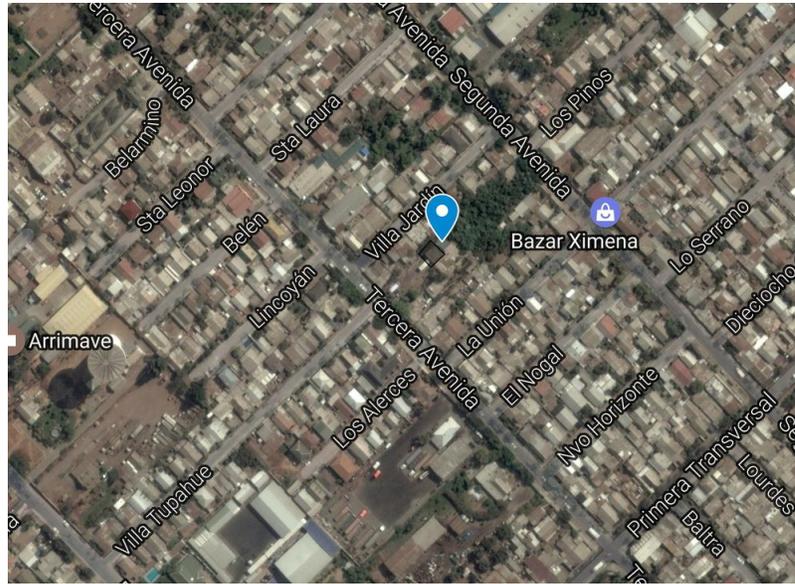


Figura 4.3: Ubicación de planta

Se escoge este lugar, debido a costo de arriendo es accesible para un RRBB, \$350.000[CLP/mes], tiene un galpón de 7 x 8 [m²], y además se encuentra muy cercano a la comuna de Maipú, la cual se caracteriza por su alta densidad poblacional y ser eminentemente residencial. Además se encuentra muy cerca de las plantas recicladoras de Santiago, facilitándose la venta de material.

Modelo de recolección de residuos

La idea principal de la memoria, es el diseño del sistema de recolección de botellas, el cual contempla contenedores que son instalados por los RRBB en donde los hogares depositan sus botellas de residuo, dicho reciclador comienza a pie a recolectar sus contenedores, estas botellas recolectadas son vendidas a intermediarios. El aumento progresivo de contenedores instalados cada mes, permite que el RRBB acceda a comprar un triciclo eléctrico y una compactadora a finales del primer año, para así vender fardos de botellas directamente a las empresas recicladoras del país. Con el aumento de dicha recolección en el segundo año se arrienda un galpón como centro de acopio, en el tercer año se compra un camión 3/4 y en el cuarto año se amplía el galpón y se compra un segundo vehículo. Todo lo anterior para que en el quinto año se instale la planta de pretratamiento de botellas, la cual permite vender además de fardos, escamas limpias y secas de PET.

Primero es necesario definir los casos que serán estudiados. Para esto se considera el medio de transporte mediante el cual se realiza la recolección, esta recolección consiste en el uso de contenedores donde son depositadas las botellas desde los hogares para su posterior separación de las botellas de PET postconsumo, los RRBB obtienen así la materia prima de su trabajo. Los RRBB se clasifican de esta forma debido a que es este factor, el que limita la capacidad mensual que pueden recolectar.

- **Recolección a pie:** Consiste en la recolección más básica, lenta y trabajosa. Debido a que como su nombre lo dice se realiza a pie, por ende la cantidad máxima que puede ser recolectada es lo que pueda transportar una persona promedio por medio de tracción humana, esto es cerca de 25 [kg]. En esta categoría se encuentran también quienes tienen un carro como el que es utilizado en las ferias libres o supermercados. Se estima entonces que la capacidad volumétrica de este tipo de recolección es de 1 [m³], con una densidad de 25[kg/m³] en promedio, por recorrido. Por último debido al bajo volumen de material que pueden trabajar en un mes, no se encuentran posibilitados para vender a la empresa recicladora, por ende solo pueden vender a intermediarios. El precio que obtienen por este entonces es cercano a los 100 [CLP/kg].

Para este tipo de recolección se propone y evalúa invertir en un contenedor móvil, el cual tenga una capacidad de 1.5 [m³], con una altura de 1[m] y un diámetro de 1.5[m], además en su base debe tener una estructura para soportar 2 ruedas fijas y una móvil.

- **Recolección en torito(triciclo eléctrico):** El torito es un tipo de triciclo el cual funciona mediante un motor eléctrico y una batería. Este permite la recolección de residuos de manera rápida y sin esfuerzos físicos. Su carga útil es de 300 [kg] y su capacidad volumétrica varía entre 1 y 2 m³ dependiendo del modelo. El costo de este vehículo es de 800.000[CLP]. Como en el caso anterior, debido a la baja carga que permite transportar, este medio de transporte el precio de venta del material es de 100[CLP/kg] y es entregado a un intermediario.
- **Recolección en vehículo motorizado (camioneta, camión 3/4):** Esta clasificación representa un progreso significativo respecto a los 2 anteriores en cuanto a capacidad y carga. Debido a que permite la recolección y transporte de más de 1 tonelada de material y su capacidad es de 7,2[m³], accediendo con esto a las empresas recicladoras, las cuales pagan en promedio 320[CLP/kg]. El costo de este vehículo es de 5.000.000[CLP], principalmente son camionetas de procedencia China y que son acondicionadas con un pick-up de malla acma y perfiles de acero.
- **Recolección en vehículo motorizado de gran capacidad (camión):** En esta categoría se encuentran aquellos recicladores que trabajan sobre las 3 toneladas por recorrido, teniendo una carga útil máxima de 24 toneladas, además su capacidad es desde los 15 a los 40 [m³], debido al gran volumen de material que pueden trabajar, estos se encuentran capacitados para vender directamente a las empresas recicladoras a un precio promedio de 320[CLP/kg].

Se presenta la Tabla 4.4, donde se resumen la clasificación por casos.

Tabla 4.4: Resumen clasificación por medio de transporte

Transporte /categoría	Capacidad [m³]	Carga útil [kg]	Precio de venta [CLP/kg]
A pie	1	25	100
Triciclo motorizado	1-2	300 -600	100
Camioneta o camión 3/4	7-8	1.500	320
Camión	15-40	3.000 -24.000	320

Fuente: Elaboración propia

Para el diseño del modelo de recolección de residuos se utilizó el "Documento de trabajo, Modelo

de gestión de reciclaje inclusivo región metropolitana" [17] elaborado por el SEREMI del medio ambiente de la RM y Fundación Casa de la Paz, esto debido al enfoque inclusivo y con objetivos de mejorar las condiciones laborales de los RRBB que tiene esta memoria.

En [17] se plantea la optimización de las rutas de reciclaje y tiempos de traslado. Para desarrollar este punto es necesario tener presente el concepto de ruta de reciclaje, que es un recorrido predefinido para la recolección selectiva de materiales reciclables. Y por otro lado el tiempo de traslado, que es el tiempo que demora un reciclador en la ruta de reciclaje considerando desde la recolección hasta el lugar de acopio o destino final.

Para la optimización de una ruta de reciclaje y tiempos de traslado se deben considerar los costos asociados a la recuperación de material en rutas de reciclaje. El principal es el costo logístico o costo de transporte. Es importante tener en cuenta que, en caso de realizar rutas en pequeños camiones o camionetas, cada viaje tendrá un costo fijo (dado por el combustible y el uso del vehículo) independiente de los kilos recolectados por viaje. A fin de optimizar el costo por tonelada, se analizan:

- Capacidad máxima del vehículo. Para este ítem, se hace una simulación con materiales sin compactar y compactados. Cabe recordar que los materiales de gran volumen y poco peso, como las botellas plásticas, al no ser compactadas manualmente o a través de otro sistema previo al centro de acopio, según el sistema de transporte (triciclo, camión u otro), puede restar espacio de carga y hacer menos eficiente el transporte. Para el caso de estudio actual se consideran las capacidades volumétricas de la Tabla 4.4, y para efectos de transporte de material sin compactar una densidad de 25 kg/m^3 , y una densidad compactado de 120 kg/m^3 , esta última densidad es la considerada al momento de vender los fardos a la empresa recicladora.
- Optimización de rutas. Supone maximizar la cantidad de kilos recolectados para un mismo viaje. Debido al elevado volumen y bajo peso que tiene el recolectar botellas, es necesario realizar procesos de recolección donde la ruta permita llenar progresivamente el vehículo, optimizando el consumo de combustible y de tiempo de recolección. Para esto se sigue el modelo presentado por Salvador, N. et al. [18], este consiste en la recolección por sector, como se puede ver en la Figura 4.4, esta forma de recorrido se obtiene mediante el modelo matemático de centro de gravedad. Por ejemplo, mirando la figura, el centro de acopio se ubica en el punto 0/0, en amarillo, desde este punto se comienza la ruta de recolección, primero se va al punto azul 0/0 el cual representa un contenedor (como se muestra en la Figura 4.5), los residuos existentes en este contenedor se vierten en el medio de transporte utilizado y se deja en la misma ubicación, luego se avanza al siguiente punto, en este caso 10/0 de color celeste, y así sucesivamente, hasta llenar el medio de transporte y volver al centro de acopio. Este método permite recolectar grandes áreas que se encuentran densamente pobladas, con el mínimo consumo de tiempo y combustible.

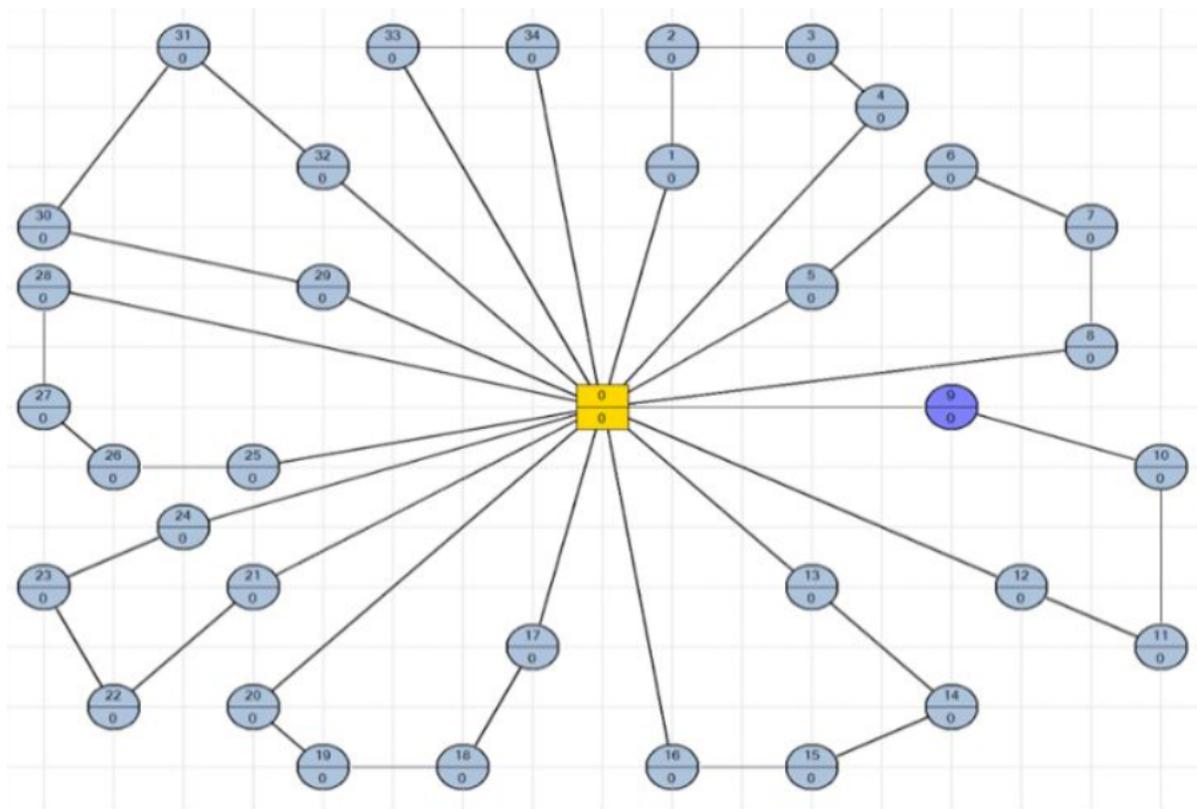


Figura 4.4: Sistema de recolección por sector

Además para los casos de vehículos motorizados cuando se implementa el modelo de recolección, es necesario realizar ante la autoridad competente la autorización de camiones relacionados con el transporte de residuos, la cual considera, entre otros aspectos:

- Detalles de los residuos transportados, siendo declarados ante la autoridad competente. Para esta memoria los residuos transportados corresponden a Residuos No-Peligrosos, en particular son sometidos a separación primaria, y en su mayoría son botellas plásticas.
- Tipos y cantidad de residuos. Para cada uno de los casos mencionados en la Tabla 4.4, se puede desprender la cantidad, siendo de 25 [kg] para quienes recolectan a pie, 600 [kg] para los que utilizan el triciclo eléctrico, de 1.500 [kg] para camioneta y de hasta 24.000 [kg] para los camiones más grandes. El tipo de residuo son botellas PET desechables de 0.5 [litros] hasta 3 [litros], de color y transparente, con y sin etiqueta.
- Indicar un destinatario autorizado por la autoridad competente.
- Indicar un transporte autorizado por la autoridad competente.
- Resolución sanitaria.

El **Crecimiento en bloque** contempla flujo de material, en este caso botellas, desde los hogares, las cuales son depositadas en los contenedores, y es una parte esencial del modelo de recolección. Esto quiere decir que la expansión de la cobertura o aumento de tasa de recolección, para la recuperación de material, debe darse en conjunto con la población. Y no debe existir un crecimiento disperso del modelo, para esto es necesario:

- Definición de ruta de reciclaje, la cual será definida de acuerdo a plazas y lugares muy transitados, también en zonas residenciales densamente pobladas, una vez indentificados estos lugares se procesde a instalar contenedores en dichos puntos. De este modo la ruta de recolección será en base a la optimización de rutas, previamente definida con el modelo de centro de gravedad.
- Inscripción y sensibilización de vecinos en ruta de reciclaje, educando y concientizando sobre la separación de residuos en origen. Esta tarea la realiza el reciclador y también es desarrollada por instituciones afines, como el MMA o fundación casa de la paz.
- Presentación de parte del reciclador que realiza la ruta, junto la definición del día y hora que pasará el reciclador recuperando el material. El día de recolección será solo una vez a la semana, ya que se define una capacidad por contenedor de 25 [kg], una altura de 1.5[m] y un radio de 0.5[m], y además el día de recolección será dependiente de la ubicación de dicho contenedor, ya que en colegios o condominios los flujos de material son más lentos y se recolecta cada 2 o 3 semanas.
- Monitoreo de la tasa de participación para cada calle, y acciones para aumentarla. Con ello se optimiza el costo logístico, ya que el costo fijo del viaje se prorratea en más kilos recolectados.

Es debido a este crecimiento en bloque que se propone el sistema de recolección de residuos a evaluar, el cual consiste en un crecimiento progresivo, dependiente de la categoría de transporte en la que se encuentre el reciclador.

Una consideración importante al momento de calcular la progresión de crecimiento, de cada caso, es que durante el primer mes de instalación del contenedor, este se llena de manera parcial durante las primeras semanas, como se puede apreciar en la Tabla 4.5. Esto se debe a que las personas que en sus domicilios separan y depositan estos residuos en los contenedores, no lo realizan de inmediato, y se deben realizar las tareas antes mencionadas para crecimiento en bloque, en especial la inscripción, sensibilización y presentación del RRBB a los vecinos. Se supone que para el segundo mes el contenedor se llena cada semana.

Tabla 4.5: Progresión de llenado de primer y segundo mes de 1 contenedor

Capacidad [kg]	25
Semana 1 [kg]	8
Semana 2 [kg]	15
Semana 3 [kg]	25
Semana 4 [kg]	25
Total mes 1 [kg]	73
Total mes 2 [kg]	100

Fuente: Elaboración propia

Progresión a pie y triciclo eléctrico

La progresión de instalación de contenedores se presenta para el caso de un contenedor por mes y

para dos contenedores por mes, como se muestra en la Tabla 4.6 y 4.7, respectivamente. Para los casos de recolección a pie y triciclo eléctrico, estos comienza cuando no hay contenedores, que son recolectados como se describen las etapas del proceso de reciclado mecánico, de la sección siguiente, para el caso de un contenedor al mes se aumenta a partir del mes 2 en 100[kg] de capacidad cada mes y en el caso de instalar 2 contenedores por mes, a partir del mes 3 se aumenta en 200[kg] la capacidad del recolector.

Tabla 4.6: Progreso acumulado de recolección en [kg] con instalación de 1 contenedor mensual

1 contenedor por mes	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10
N Contenedores	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
kg mes	73	173	273	373	473	573	673	773	873	973

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.7: Progreso acumulado de recolección en [kg] con instalación de 2 contenedores mensuales

2 contenedor por mes	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10
N Contenedores	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19
kg mes	73	319	446	646	846	1046	1246	1446	1646	1846

Fuente: Elaboración propia

Progresión en camión o camioneta

Para el crecimiento en recolección de los camiones y camionetas, debido a sus mayores capacidades se calcula un crecimiento total anual de 7 toneladas, con aumentos progresivos mes a mes. Como resultado, y a modo de ejemplificar la recolección en futuro, se puede ver la Tabla 4.8, donde se comienza desde 583 [kg/mes] en el mes 1, hasta 7.000 [kg/mes] al final del año 1, esto gracias al uso de compactadoras. Esta progresión es anual y de constante crecimiento, a finales del año 2 se tiene una capacidad de 14.000[kg/mes], en el año 3 se llega a una capacidad máxima de 21.000[ton/mes] y así 7 [ton] de aumento cada año, las diferentes propuestas serán evaluadas económicamente en el siguiente capítulo.

Tabla 4.8: Progreso acumulado de recolección en [kg] con crecimiento anual de 7 toneladas

7 toneladas/mes	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12
N Contenedores	6	15	24	33	42	51	60	69	78	87	96	105
kg mes	583	1.167	1.750	2.333	2.917	3.500	4.083	4.667	5.250	5.833	6.417	7.000

Fuente: Elaboración propia

Proceso

Como se describió en la sección 3.1.6 Reciclaje de PET, existen 3 métodos para el reciclaje de las botellas PET siendo el reciclaje mecánico y el químico los predominantes en el mercado. Los

procesos mecánicos se caracterizan por ser más baratos, pero exigen una limpieza previa de los residuos adicionales que pueda tener la botella PET, como restos de alimento, pegamento, etiqueta, tapa, piedrecillas, entre otros. Dependiendo de la limpieza que se realice a la botella se obtendrá un material reciclado de mayor calidad.

El reciclaje químico es mucho más preciso y sofisticado, obteniendo un producto de calidad superior al que se obtiene por reciclado mecánico, además no necesita de separar los plásticos por tipo y tampoco una limpieza del residuo. La desventaja de este proceso es su elevado costo y su poco desarrollada aplicación a nivel industrial. El costo del reciclaje químico, sumado al enfoque de bajo costo que tiene el proyecto, ya que los destinatarios son los RRBB, elimina este tipo de reciclaje de las alternativas. Por ende se selecciona el reciclaje mecánico para el desarrollo de la memoria y su dimensionamiento. Es necesario definir en adelante las etapas del proceso, maquinaria y equipamiento utilizados para obtener un producto final.

Etapas del proceso de pretratamiento para el reciclado mecánico

El reciclaje mecánico se define como un proceso físico y mecánico, donde el plástico post-consumo, es recuperado y procesado para su posterior utilización. Este proceso es similar para casi todos los termoplásticos, teniendo variaciones dependientes de cada producto. Para el caso de este estudio se diseña un proceso especialmente para los RRBB de botellas PET de Chile. Este proceso está pensado para un trabajo continuo de la maquinaria, por ende no se genera la necesidad de que haya un operario por cada máquina, sino más bien trabajadores distribuidos a lo largo de la cadena productiva en sectores estratégicos, para garantizar la calidad del producto y que el flujo de material sea constante. Para definir las etapas del proceso de recolección y pretratamiento, se sistematiza un caso base, el cual contempla el uso de un camión 3/4 y una compactadora como situación inicial, por ende las etapas del proceso son:

- Recolección
- Separación
- Trituración
- Pre lavado y separación por densidad
- Lavado en caliente
- Centrifugado
- Secado
- Almacenado
- Proceso productivo de extrusión o inyección
- Control de calidad

Se describen a continuación los procesos que son parte del reciclado mecánico.

Recolección: Para el alcance de esta memoria se considera el proceso de recolección de material, como parte inicial del trabajo. Este consiste en transportar las botellas desde su punto de recolección al centro de acopio o planta de pretratamiento.

Primero se instalan los contenedores, como el que se puede ver en la Figura 4.5, los cuales son situados en puntos estratégicos de la ciudad. Las botellas son cargadas al camión manualmente, primero se acerca un maxisaco como el de la Figura 4.6 al contenedor, donde este es invertido dejando caer en el maxisaco las botellas y otros residuos que pudiera tener contenedor. Finalmente el maxisaco es cargado al camión. Este proceso se repite en cada punto por dónde se trace la ruta.



Figura 4.5: Contenedor de botellas PET



Figura 4.6: Maxisacos

Cabe destacar que las botellas de PET son livianas cuando se encuentran sin relleno líquido, con una densidad de 25 kg/m^3 aproximadamente, lo cual no permite transportar grandes cantidades en peso por cada recorrido.

Otra forma de recolectar las botellas es mediante la compra de estas a intermediarios o terceros,

Tabla 4.9: Tipos de recorrido

Tipos de recorrido	[km]
Recorrido corto	15
Recorrido largo	25
Recorrido de venta	10
Recorrido de instalación	17

los cuales siguen un proceso similar al descrito anteriormente pero la diferencia de esto es que para obtener las botellas estos se las compran a otro actor, aumentando costos y disminuyendo algunos temas logísticos.

Finalmente, cuando no se tiene instalada la planta de pretratamiento, es posible vender las botellas recolectadas pero en forma de fardos, los cuales son producidos mediante una compactadora para reciclaje.

Existen además 4 tipos de recorridos que se realizan en las tareas de recolección y venta, para la ubicación propuesta y el caso de recolección en vehículo.

Estas son el recorrido de recolección corto de 15[km], el cual contempla los contenedores que se encuentran más cerca del centro de acopio, el recorrido de recolección largo que son 25[km] y es el recorrido más extenso a considerar en el caso propuesto, el recorrido de venta que se estima como 10[km], debido a la ubicación del centro de acopio, y por último el recorrido de instalación de contenedor que son 17[km] en promedio. Lo anterior se resume en la Tabla 4.9.

Separación: La separación de las botellas es muy importante, pues como se mencionó anteriormente el reciclaje mecánico depende en gran medida de la limpieza y separación de los residuos. Para este proceso existen 2 opciones, primeramente la *separación manual* que es mediante la cual se trabajará, como su nombre lo indica consiste en el uso de mano de obra para distinguir y redistribuir las botellas, la otra opción es la *separación automática*, dónde se utiliza una máquina que hace la misma labor que la mano de obra, entregándose en ambos casos una separación según 3 parámetros:

- **Color:** este es un factor primordial, ya que si la botella con la que se trabaja es transparente, esta podrá conservar esta propiedad o ser teñida con cualquier color que se necesite, en el caso contrario que la botella ya tenga un pigmento de algún color (usualmente azul y verde para el caso chileno), el producto final solo podrá tener ese color u otro más oscuro.
- **Contenido:** normalmente las botellas son rellenas con alguna bebida gaseosa o un jugo, en este caso el contenido no genera un problema para el proceso de reciclado, esto cambia si el contenido de la botella es aceite o detergente, en este caso las botellas deben ser tratadas de otra forma, ya que generan problemas en la línea de reciclaje y en las propiedades finales del producto pretratado.
- **Etiquetado:** existen 2 problemas con el etiquetado el primero es que cuando se recicla un envase con etiqueta, esta idealmente debería ser retirada, para así no invertir tiempo ni maqui-

naria en procesos posteriores para su separación. Por otro lado está el material del etiquetado, en el caso de Chile existen 3 materiales de etiquetado: PEAD(Polietileno de Alta Densidad), papel y PVC(Policloruro de Vinilo). Los 2 primeros no generan un problema para el reciclado, ya que la maquinaria es instalada para separar estos materiales por densidad como se describirá en el siguiente punto. El problema del PVC es que tiene una densidad superior a la del agua del orden de $1.4[\text{g}/\text{cm}^3]$, tal como el PET, lo que no permite su fácil separación, y además dificulta la fabricación de un nuevo producto, ya que si al momento de fundir el PET este tiene un contenido de PVC este ocasiona manchas en el PET transparente así como su degradación.

Todos estos factores son tomados en cuenta al momento de separar los residuos, por ende este proceso se ordena de la siguiente forma. Ingreso del material recolectado a la planta, el cual luego de ser descargado es manualmente depositado en cintas transportadoras, las cuales llegan donde el operario que deposita en un maxisaco las botellas transparentes sin etiqueta, en otro las transparentes con etiqueta, otro saco para las botellas de color sin etiqueta, uno más para las botellas con etiqueta y de color, otro saco para las botellas que tuvieron contenidos que no pueden ser reciclados y finalmente un saco para las botellas con etiquetado de PVC. Cabe destacar que durante este proceso de separación el operario no retira la tapa de la botella, solo pincha la botella con un punzón o cuchillo, para así facilitar el proceso de compactación.

Trituración: Una vez que las botellas son separadas, desde los maxisacos se vierte en otra cinta transportadora, la cual llega hasta la trituradora por su parte superior, tolva. El resultado de este proceso es la generación de escamas como se pueden ver en la Figura 4.7, las cuales han sido trituradas por los cuchillos giratorios que tiene la máquina. Estas escamas pueden estar mezcladas con otros residuos de bebidas o las etiquetas, tapa y pegamento. Además la trituradora dispone de un juego de mallas con orificios que posibilitan el tamaño apropiado (6-12 mm) y uniforme de las escamas. Las escamas son depositadas por debajo de la máquina en una cinta transportadora, la cual conecta con el siguiente proceso.



Figura 4.7: Escamas de PET, luego de su trituración

Separación por densidad: El proceso de separación por densidad es efectuado por flotación, en este las escamas del proceso anterior se vierten en un estanque con agua. Gracias a que la densidad del PET es mayor que la del agua, este se hunde, a diferencia del Polietileno de Alta Densidad (PEAD), Polipropileno (PP) y otros componentes que tiene la botella que flotan. Este proceso es considerado un pre lavado, ya que moja las escamas de PET y les quita la suciedad superficial y tierra. El PET en el fondo del tanque es recolectado con un tornillo sin fin, que sale del estanque y sube en diagonal hacia el siguiente proceso, procurando así no mezclar el agua del pre lavado con la del lavado siguiente.

El material que flota es separado por unas paletas como desperdicio o filtrado en un proceso de recirculación de aguas del estanque. Cabe destacar que este proceso no permite separar el PET del PVC, ya que como se mencionó antes el PVC tiene una densidad muy similar a la del PET.

Lavado: Este proceso consiste en lavar las escamas de plástico con agua y detergentes de baja espuma, el PET ingresa a la lavadora mediante el tornillo sin fin, el cual deposita en la lavadora horizontal las escamas, que luego de ser limpiadas, mediante agua caliente y el giro del tambor de lavado, se obtiene una mayor limpieza, debido a que se remueven todas las impurezas, además de agregar otro desinfectante como cloro o líquido antibacterial, este lavado se denomina "Aqueous washing" y consta de 2 etapas, un lavado con agua caliente a 80°C mezclado con 2% de NaOH y detergente, seguido de un lavado frío solo con agua [1], luego las escamas limpias son transportadas al siguiente proceso. Dado que no se quiere obtener un producto de grado envase alimenticio, entonces no es necesario un lavado con hidrociclones, y solo se trabajará con detergentes. El proceso de lavado es fundamental para el producto final, ya que si este contiene pocas impurezas, entonces estaremos frente a una escama que será fácilmente transformado en otro producto.

Secado: El proceso de secado es esencial. En este se elimina la humedad remanente del material, lo cual reduce los efectos de la degradación hidrolítica. Esto se logra mediante secadores a 170[°C] y por 6 horas, todo antes de alimentar a la extrusora [1]. Se utiliza una secadora centrífuga, se entrega como producto final escamas de PET separados por color, limpias y secas.

Almacenado: Las escamas ya secas son almacenadas en un depósito, esperando el proceso productivo posterior. Para este proceso son utilizados maxisacos limpios que son cerrados y almacenados en un depósito, son transportados mediante una transpaleta como se puede ver en la Figura 4.8.



Figura 4.8: Transpaleta

Procesos de nuevo producto La opción de proceso productivo, luego de tener una escama seca y limpia, es la fabricación de un nuevo producto. Si bien este proceso sería un beneficio concreto a los RRBB, para los alcances de esta memoria no es analizado, debido a que es necesaria una evaluación económica y de procesos para un producto que en la actualidad no existe.

Control de Calidad: Tal como se mencionó antes, el control de calidad debe ser realizado a lo largo de todo el proceso. Cabe destacar que en el transcurso del desarrollo de esta memoria se publicó la nueva NCh3407, la cual define parámetros necesarios para el control de calidad, y de características mínimas para ser medidas en la planta.

En la industria del plástico reciclado, es muy importante controlar las características mecánicas y químicas de los mismos, puesto que este material se va degradando conforme se va reciclando y sus propiedades disminuyen. Por lo tanto, un correcto control de calidad, permite lograr una estandarización en las especificaciones del material, según la NCh3407, e inclusive determinar si se pueden mejorar sus propiedades, mediante la adición de diferentes sustancias químicas durante el proceso de extrusión, como se mencionó en la sección 3.1.6, aumento de viscosidad intrínseca.

El control de calidad debe llevarse a lo largo del proceso, para disminuir la variabilidad de cada estación lo más posible. Además, cuando se reciclan plásticos, es usual que el cliente exija al reciclador un informe de algunas características mecánicas o químicas del material. Estas exigencias varían por cada cliente, por ejemplo: si el cliente fabricará productos que estén en contacto con alimentos, exigirá conocer el grado de contaminación y bacterias que posee el material.

Algunas de las características que más interesan en los plásticos reciclados son la densidad y la temperatura de fusión. A continuación se presenta un método para medir ambas características, además del MFI.

- **Densidad:** Se toman una escama de producto terminado RPET y se la mide en una balanza digital, anotando su peso. Luego se introduce esta misma escama en una probeta con agua (cuyo volumen inicial es conocido). Como el PET sólido tiene una densidad superior a la del agua (1380 kg/m^3 para el PET; 1000 kg/m^3 para el agua), la escama precipita hasta el fondo. Debido a esto, el nivel de agua aumentará. Tomando el nuevo nivel de agua, se puede determinar el aumento de volumen ocupado dentro de la probeta, el cual es igual al volumen de la escama de PET introducida. Conociendo el peso de las escamas y su volumen, se determina su densidad.
- **Temperatura de fusión:** Se introducen algunas escamas de PET dentro de un recipiente metálico y se coloca el mismo sobre un mechero de Bunsen. Se calienta el mismo hasta que las escamas comiencen a fluir, y se toma la temperatura de fusión con un termómetro, que para el PET virgen es de alrededor de $260[^\circ\text{C}]$ [19].
- **Melting Flow Index:** Este dato es solicitado por diversas industrias al momento de comprar un producto, ya que es una prueba reológica básica que se realiza a un polímero para conocer su fluidez. Se define como la cantidad de material (medido en gramos) que fluye a través del orificio de un dado capilar en 10 minutos, se mide en $[\text{g}/10 \text{ min}]$, manteniendo constantes presión y temperatura estándares, se debe tomar una cantidad de polímero a una temperatura conocida arriba de su T_g y obligarlo con un peso dado, a pasar a través de un orificio por un tiempo determinado, (ISO 1133 o ASTM D1238).

Maquinaria

Una vez definido el proceso productivo, se describen ahora las maquinarias que se utilizarán a lo largo de la línea de producción, revisando así cada proceso y listando las máquinas, equipos o elementos necesarios. Además se presentarán antecedentes técnicos de la maquinaria, así como precio y empresa proveedora. A su vez, como se describió antes, existe una progresión en la recolección, por lo que se debe valorizar distintos medios de transporte y diferentes productos de venta dependiendo de la etapa en la que se encuentre, como pueden ser fardos de botellas o escamas procesadas.

Recolección: Como se definió anteriormente la recolección es considerada la parte inicial del proceso. Y de acuerdo a tipos de transporte de la Tabla 4.4, se describe la maquinaria para cada caso.

Para la recolección a pie son necesarios maxisacos, contenedores de $25[\text{kg}]$ y $1[\text{m}^3]$ capacidad y un contenedor móvil, se resumen dichos costos en la Tabla 4.10. Para la recolección en torito se

Tabla 4.10: Costos equipos recolección a pie

Equipo	Costo [CLP]	Proveedor
Contenedor	10.000	Fabricación Propia
Contenedor Móvil	30.000	Fabricación Propia
Maxisaco	3.000	Easy

necesitan, contenedores de $25[\text{kg}]$ y $1[\text{m}^3]$ capacidad, maxisacos, compactadora de $3[\text{kW}]$ y una capacidad de $5,9[\text{m}^3/\text{h}]$ y el torito para $300[\text{kg}]$. En la Tabla 4.11 se resumen los costos de dichos

equipos.

Tabla 4.11: Costos equipos de recolección en torito

Equipo	Costo [CLP]	Proveedor
Contenedor	10.000	Fabricación Propia
Maxisaco	3.000	Easy
Compactadora	2.300.000	Batiste
Torito	800.000	Xinou

Para la recolección en camión o camión 3/4 son necesarios contenedores de 25[kg] y 1[m³] capacidad, maxisacos, compactadora de 3[kW] y una capacidad de 5,9[m³/h] camión con capacidad para 1,5 toneladas y un pick-up de 2,7 x 1,5 [m²]. Con además un consumo de combustible en ciudad cercano a los 12 [km/L] y un motor a bencina de 93 octanos de 1,2[L]. En la Tabla 4.12 se presenta un resumen de los costos de dichos equipos.

Tabla 4.12: Costos equipos de recolección en camión

Equipo	Costo [CLP]	Proveedor
Contenedor	10.000	Fabricación Propia
Maxisaco	3.000	Easy
Compactadora	2.300.000	Batiste
Camión 3/4	4.000.000	FAW, DFSK

Separación: Para el proceso de separación, cuando se recolecta a pie, en torito y en camión 3/4, son necesarios 2 elementos maxisacos para la separación manual de las botellas y un corta cartón por operario separador. Estos costos se detallan en la Tabla 4.13.

Tabla 4.13: Costos equipos de separación a pie, en torito y camión 3/4

Equipo	Costo [CLP]	Proveedor
Maxisaco	3.000	Easy
Cortacartón	2.000	Sodimac

Para el proceso de separación, cuando se recolecta en camión y se implementa la planta de pretratamiento se necesita maxisacos para la separación manual de las botellas, un corta cartón por operario separador y una cinta transportadora donde llegarán los materiales a ser separados, de 475[mm] de ancho, motor de 1.5[kW]. Estos costos se detallan en la Tabla 4.14

Trituración: Para el proceso de trituración es necesario un Molino que trabaje a 300 [kg/h], esto para permitir el trabajo de un proceso continuo, la potencia solicitada es 23[kW], con un tamaño de escama entre 6 y 12[mm]. Los costos de dichos equipos se resumen en la Tabla 4.15

Tabla 4.14: Costos equipos de separación en camión

Equipo	Costo [CLP]	Proveedor
Maxisaco	3.000	Easy
Cortacartón	2.000	Sodimac
Cinta Transportadora	1.870.000	BEIER Machinery

Tabla 4.15: Costos equipo de trituración

Equipo	Costo [CLP]	Proveedor
Molino	3.400.000	Batiste

Separación por densidad: Como ya fue descrito, para este proceso es necesaria agua y un tanque para depositar el PET a una velocidad de 300 [kg/h], cuya potencia es de 4[kW]. Los costos de dichos equipos se resumen en la Tabla 4.16

El costo de este tanque es de: 3.000.000[CLP]

Tabla 4.16: Costo equipo de separación por densidad

Equipo	Costo [CLP]	Proveedor
Tanque separación	3.000.000	Batiste

Lavado: Para el proceso de lavado se cotizó una lavadora en caliente que cumpla con las especificaciones anteriormente mencionadas, esta tiene un motor de 4[kW], el volumen de la cámara caliente es de 3,8[m³], trabajando a temperaturas entre 70 y 90[°C]. Los costos de dichos equipos se resumen en la Tabla 4.17

Tabla 4.17: Costo equipo de lavado

Equipo	Costo [CLP]	Proveedor
Lavadora	6.000.000	BEIER Machinery

Secado: El proceso de secado es el proceso que mayor calidad agrega al producto final. Ya que si el producto tiene más de 50 ppm, dejará de ser aceptable. Esta secadora se divide en 2 partes, la centrífuga y la línea de cañerías de secado, para la centrífuga se tiene un motor de 11[kW] a una velocidad de 2200[RPM], para el caso de la línea de cañerías se calienta mediante resistencias, las cuales tienen un consumo de 36[kW], para succión y soplado se tiene un motor de 9,5[kW]. Los costos de dichos equipos se resumen en la Tabla 4.18

Tabla 4.18: Costo equipo de secado

Equipo	Costo [CLP]	Proveedor
Secador	9.500.000	BEIER Machinery

Almacenado: Como se menciona en la descripción del proceso, para el almacenado se necesita maxisacos y una transpaleta. Los costos de dichos equipos se resumen en la Tabla 4.19

Control de calidad: Para efectuar el control de calidad son necesarios los equipos para medir las características anteriormente mencionadas. Los equipos son balanza (precisión $\pm 0,1$ g), tamiz

Tabla 4.19: Costo equipo almacenamiento

Equipo	Costo [CLP]	Proveedor
Transpaleta	200.000	Technoplus Sodimac

(diámetro nominal 200 mm), agitador mecánico de tamiz, balanza analítica (precisión $\pm 0,0001$ g), crisol de porcelana (80 ml), desecador, estufa de aire forzado (max. 250[°C]) y el aparato para medir MFI. Además para llevar el control de venta, se necesita una balanza con capacidad de 300 [kg]. Un resumen de costos y cotización se presenta en la Tabla 4.20.

Costo equipos: 3.169.500[CLP]

Tabla 4.20: Resumen costos de control de calidad

Equipo	Costo [CLP]	Proveedor
Balanza 300 [kg]	45.000	Grantech
Balanza 0.1 [g]	40.000	Labquimed
Tamiz y agitador mecánico	1.000.000	Aguamarket
Balanza 0.0001 [g]	1.000.000	SBoss
Crisol 80 [ml]	4.500	Ding Xin Yi
Desecador	180.000	Labquimed
Estufa aire forzado	900.000	Labopolis
Aparato de MFI	508.000	Asian Test Equipments
Total	3.677.500	

Fuente: Elaboración propia

Equipos de oficina: Si bien los equipos de oficina no son mencionados en el proceso, son parte de este, ya que en ellos se contempla, computadoras, impresoras, routers y otros elementos que no se especifican, estos son necesarios para la elaboración de los informes para el control de calidad, además para controlar la producción y trabajar con clientes de manera indirecta.

El costo de los equipos es de : 300.000[CLP]

Se resume consumo eléctrico en [kW] de todas las máquinas cotizadas, en la Tabla 4.21.

Tabla 4.21: Consumo eléctrico

Máquinas	[kW]
Molino	23
Separador por densidad	4
Lavadora	4
Secadora	56,5
Cinta transportadora	1,5
Compactadora	3
Total	92

Fuente: Elaboración propia

Para recopilar todo lo anteriormente mencionado, se presenta la Tabla 4.22, la cual presenta los precios de cada maquinaria y equipo a comprar. Cabe destacar que la suma total de todo esto, contempla la compra de solo una unidad de cada máquina o equipo, y esta compra es de manera progresiva en el tiempo, como se ha descrito anteriormente. Por ende solo representa un orden de magnitud de la inversión inicial para la planta de pretratamiento.

Tabla 4.22: Precio máquinas e instrumentos

Máquina o equipo	Valor [CLP]
Contenedor	\$ 10.000
Contenedor móvil	\$ 30.000
Compactadora	\$ 2.300.000
Torito	\$ 800.000
Camión	\$ 4.000.000
Maxisaco	\$ 3.000
Cortacartón	\$ 3.000
Cinta transportadora	\$ 1.900.000
Molino	\$ 3.400.000
Tanque separación	\$ 3.000.000
Lavadora	\$ 6.000.000
Secadora	\$ 9.500.000
Transpaleta	\$ 200.000
Equipos de laboratorio	\$ 3.677.500
Equipos de oficina	\$ 300.000
Total	\$ 35.620.500

Fuente: Elaboración propia

Diagrama de flujo de proceso

En la Figura 4.9 se puede ver el PFD (process flow diagram) para representar el proceso de recolección, separación y compactación, sin la planta de pretratamiento. En la Figura 4.10 se presenta el PFD todas las etapas del proceso de pretratamiento, desde el ingreso del camión a la planta, hasta su almacenamiento dentro de la misma. Es importante destacar que este es el flujo que tienen los procesos dentro de la planta.

Layout

Debido a lo progresivo de la propuesta es que se presentan 2 layouts diferentes, uno para el caso de recolección y compactación, y otro para la recolección y pretratamiento de los residuos, estos se presentan en las siguientes páginas. Para el primer layout, este llega hasta la compactación y enfardado de las botellas PET postconsumo, a su vez, este contempla el almacenamiento de dichos fardos, hasta alcanzar la cantidad mínima para la venta. Cabe destacar que el layout está pensado para el galpón que fue cotizado, que a la vez permite la ampliación de dicho galpón para otras solicitudes y además tiene espacio para el estacionamiento de vehículos, y cuenta con corriente trifásica, la cual es solicitada por las diferentes maquinarias.

Para el segundo layout, este contempla todo el proceso de pretratamiento, además esta configuración en planta permite mantener el proceso de compactación y enfardado de botellas, permitiendo así seguir vendiendo este producto a las empresas recicladoras.

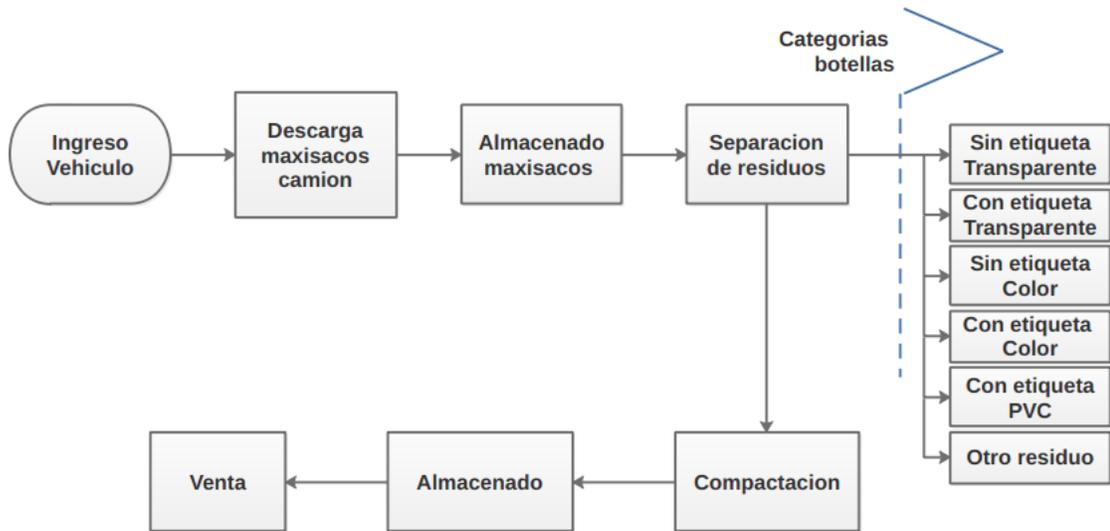


Figura 4.9: PFD Diagrama de Flujo de Proceso sin planta de pretratamiento

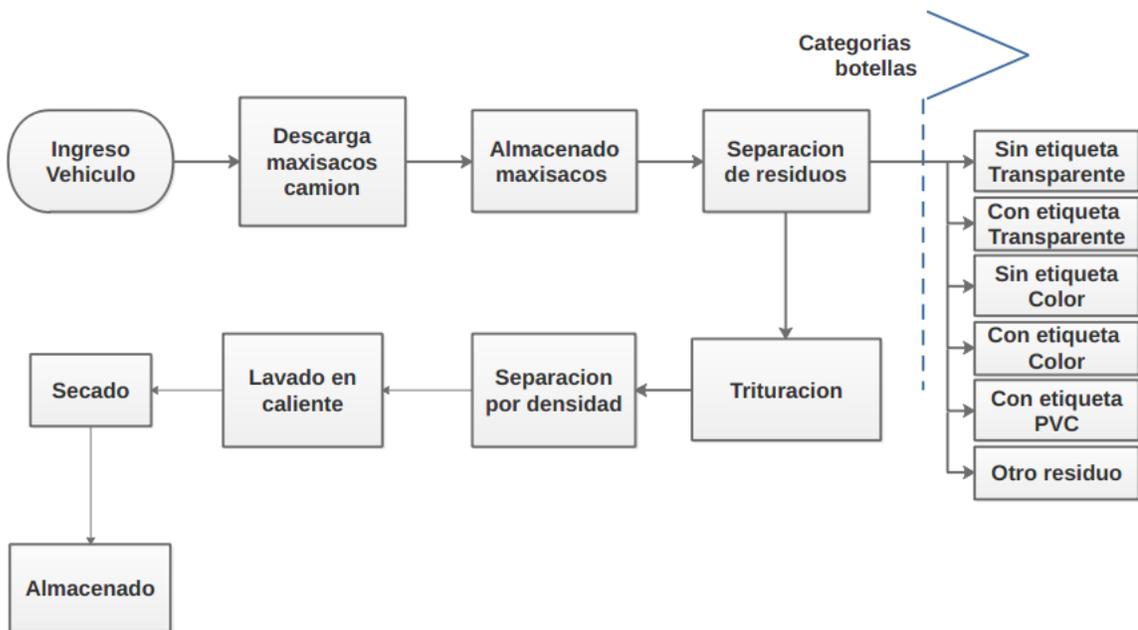
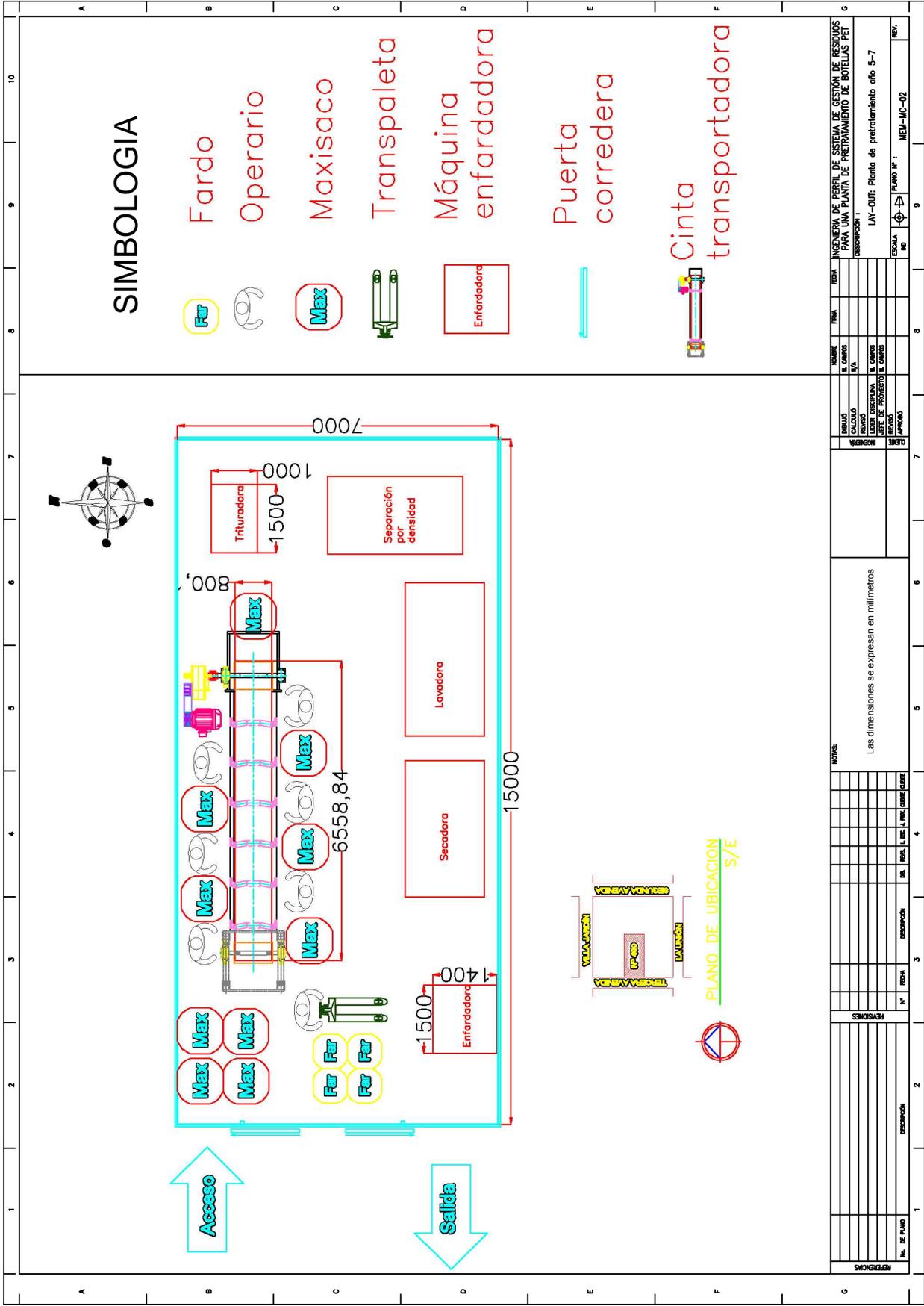
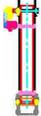


Figura 4.10: PFD Diagrama de Flujo de Proceso con planta de pretratamiento

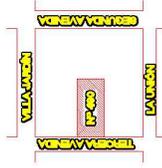


SIMBOLOGIA

-  Fardo
-  Operario
-  Maxisaco
-  Transpaleta
-  Máquina enfardadora
-  Puerta corredera
-  Cinta transportadora

INGENIERIA DE PERIL DE SISTEMA DE GESTION DE RESIDUOS PARA UNA PLANTA DE PRETRATAMIENTO DE BOTELLAS PET		TITULO		FECHA	
AUTOR		DISEÑO		REVISIÓN	
CALCULO		REVISOR		FECHA DE APROBACION	
LIDER DE EQUIPO		REVISOR		FECHA DE APROBACION	
LIDER DE PROYECTO		REVISOR		FECHA DE APROBACION	
CLIENTE		INGENIERIA		PLANO Nº: MEH-MC-02	
NOTA:		Las dimensiones se expresan en milímetros		REVISIONES	
Nº		FECHA		DESCRIPCION	
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

PLANO DE UBICACION S/E



4.2.2. Prefactibilidad económica

La evaluación económica se realiza mediante una proyección de flujo, la cual se divide en proyección de costos y en proyección de ingresos.

La proyección de costos se caracteriza en las siguientes clasificaciones: los OPEX y CAPEX. Para la proyección de ingreso se definirá los supuestos de unidades de venta y porcentaje de aumento del volumen de venta anual. Estas proyecciones dan como resultado el Flujo de caja el cual tiene como indicadores de rentabilidad el VAN y TIR, estos indicadores son determinantes en proyectos de inversión como el que se presenta.

OPEX

Los OPEX, del inglés OPERating EXPense, son un costo permanente para el funcionamiento de un producto, negocio o sistema. Puede traducirse como gasto de funcionamiento, gastos operativos, o gastos operacionales.

Dentro de los OPEX se consideran los gastos de contabilidad, derechos de licencia, mantenimiento y reparación, la recogida de basura, el servicio de limpieza, el control de plagas, el cuidado del césped, la publicidad, los gastos de oficina, suministros, servicios públicos, tales como el teléfono, seguros, gestión de la propiedad, incluyendo un gerente residente, viajes y gastos de vehículo.

Cabe destacar que el costo de las botellas PET se supone nulo, ya que se consideran los costos de recolección, tanto de capital humano como de transporte.

Se definen los siguientes costos de operación:

- Transporte: este costo es directamente proporcional a la cantidad de kilómetros recorridos por el recolector, para el caso del transporte a pie, este costo es nulo y solo se considera el tiempo invertido por quien realiza la ruta de trabajo. Para quien anda en torito o triciclo eléctrico, este costo depende de la autonomía en horas y [km] que tenga el vehículo, que en promedio son 7[h] o 60[km], con una batería de 60[V] y de 20[A], luego su potencia es de 1200 [Watt] o 1,2[kW] por cada carga completa de batería, cuyo costo considerando \$112[CLP/kWh], es de \$135[CLP/carga]. Para el caso de una camioneta o camión, estos utilizan combustibles derivados del petróleo, como bencina de 93 octanos para las camionetas y diesel para los camiones, se estima un promedio de consumo de 12[km/l] y un costo promedio de \$700[CLP/litro], equivalentes a \$59[CLP/km].
- Mantenimiento: para la recolección a pie este costo es nulo, se tienen los costos asociados a mantención del vehículo, tales como aceite, neumáticos y frenos, fijado en \$50.000[CLP/mes], documentos necesarios como revisión técnica, permiso de circulación y permiso de transporte de residuos no peligrosos. Fijado en \$100.000[CLP/año] y por último un seguro del vehículo de \$40.000[CLP/mes]
- Respecto a los contenedores se tiene un costo operacional por mantención de \$20.000[CLP/mes]
- Consumo eléctrico de máquinas kWh, este se encuentra detallado en la Tabla 4.21. Para el

caso cuando no se tiene la planta de pretratamiento el consumo eléctrico es de 3[kW], y cuando se instala la planta de pretratamiento se tiene un consumo total de 92[kW], cabe destacar que si bien se considera su consumo de manera constante, su uso es solo en horas laborales, y no en todo momento, se consideran 8 horas diarias y 22 días por mes. Dando un equivalente de 528[kW/mes] para el caso en el que no se ha instalado la planta y de 16.192[kW/mes] cuando la planta se encuentra instalada, correspondientes a \$59.136[CLP/mes] sin planta y de \$1.813.504[CLP/mes] con la planta de pretratamiento instalada.

- Gastos de administración y venta (arriendo, electricidad, agua, internet y telefonía y limpieza de esta). El arriendo es de \$350.000[CLP/mes], el costo del agua es de \$20.000[CLP/mes], la electricidad excluyendo las maquinas anteriormente mencionadas son \$50.000[CLP/mes], en internet y telefonía son \$35.000[CLP/mes]. Finalmente la limpieza y artículos de aseo de la planta son \$15.000[CLP/mes].
- Las remuneraciones son divididas entre 3 labores principalmente, dentro del sistema, primero están quienes recolectan en el camión o torito, considerados choferes, su remuneración es de \$400.000[CLP/mes], para los separadores de residuos se considera un sueldo de \$322.500[CLP/mes]. Finalmente el emprendedor(RRBB cuando implementa el sistema de recolección y la planta de pretratamiento), que está a cargo de todo este sistema, tiene un sueldo variable cada año, en el primer año la remuneración corresponde al saldo de la venta de botellas, a partir del tercer año se considera su remuneración igual a la de chofer, más un bono de \$200.000[CLP/mes], esto equivalente a \$600.000[CLP]. El año 4 se considera la incorporación de otros choferes, por ende el sueldo del emprendedor se fija en \$700.000[CLP/mes], con un aumento anual de \$100.000[CLP].

Se resumen todos los gastos operativos en la Tabla 4.23.

CAPEX

El gasto de capital (Capex), es el costo de desarrollo o el suministro de componentes no consumibles para el producto o sistema.

Los CAPEX son utilizados para adquirir o mejorar los activos fijos tales como equipamientos, propiedades o edificios industriales. En contabilidad, los CAPEX se incluyen en una cuenta de activos (capitalización) incrementando el valor base del activo (el costo o valor de un activo ajustado por motivos impositivos).

Debido a lo progresivo de la propuesta, los CAPEX no son todos al inicio del proyecto, sino que van agregándose mensualmente o anualmente, la mayoría de estos costos se encuentran detallados en la sección anterior, específicamente en la Tabla 4.22. Se consideran los siguientes CAPEX:

- Contenedor y contenedor móvil, y sus herramientas para construcción. Equivalente a 10.0000[CLP/-contenedor] y 30.000[CLP/contenedor], respectivamente.
- Torito son \$800.000[CLP] y camión 3/4 \$4.500.000[CLP] .
- Maxisacos \$3.000 [CLP] y cortacarton \$3.000 [CLP]
- Compactadora y enfardadora \$2.300.000[CLP], EPP se consideran \$12.500[CLP], ropa de trabajo son \$15.000[CLP].
- Cambio a medidor trifásico que son \$183.248[CLP] y ampliación de galpón equivalente a

Tabla 4.23: Resumen OPEX

Item	Valor	Unidad
Consumo electricidad triciclo	3	[CLP/km]
Consumo bencina camión 3/4	59	[CLP/km]
Consumo petroleo camión	150	[CLP/km]
Mantenición camión	50.000	[CLP/mes]
Seguro camión	40.000	[CLP/mes]
Documentos camión	100.000	[CLP/año]
Consumo eléctrico planta pretratamiento	1.813.504	[CLP/mes]
Arriendo	350.000	[CLP/mes]
Electricidad	50.000	[CLP/mes]
Agua	20.000	[CLP/mes]
Internet	35.000	[CLP/mes]
Limpieza	15.000	[CLP/mes]
Remuneración chofer	400.000	[CLP/mes]
Remuneración separador	320.000	[CLP/mes]
Remuneración emprendedor	400.000	[CLP/mes]

\$10.000.000[CLP/mes]

- Planta pretratamiento, esta contempla la cinta transportadora \$ 1.900.000[CLP], el molino \$ 3.400.000[CLP], el tanque de separación \$3.000.000 [CLP], lavadora \$6.000.000 [CLP], secadora \$9.500.000 [CLP], transpaleta\$ 200.000[CLP], equipos de laboratorio \$ 3.677.500[CLP] y de oficina \$300.000 [CLP] que en total son \$27.977.500[CLP].

Proyección de ingresos

La proyección de ingresos se calcula mediante supuestos de precio y supuestos de volumen de venta, se presentan los siguientes supuestos de **precio**.

Caso 1, a pie y torito

El caso 1 corresponde al precio de venta de botellas separadas según color y etiquetado, que se encuentran perforadas mediante cortacartón, pero no están compactadas, cuya cantidad es menor que 1[tonelada]. El precio de venta es de \$170[CLP/kg], se considera que se vende a un intermediario o a un emprendedor que realice este proyecto y compre la materia prima, este precio se revisa en función de la elasticidad de la demanda.

Caso 2, camión sin planta de pretratamiento

El caso 2 corresponde al precio de venta de botellas separadas según color y etiquetado, que se

encuentran perforadas, enfardadas y que su cantidad es superior a 1[tonelada]. El precio de venta es de \$320[CLP/kg], el cual corresponde al precio de mercado, y se venden directamente a las plantas recicladoras RECI PET o Integrity.

Caso 3, camión con planta de pretratamiento

El caso 3 corresponde al precio de venta de escamas u hojuelas de botellas PET separadas según color, limpias y secas. El precio de venta es de \$470[CLP/kg], el cual corresponde al precio de mercado. Y dichas escamas son vendidas a las mismas plantas recicladoras anteriormente mencionadas. Cabe destacar que en el caso en que se produce un producto original, se agrega un nuevo caso, donde el producto final tiene otro precio y otros compradores.

Se procede a definir los supuestos de **volumen de venta** para cada periodo.

El volumen de venta será creciente, y dependerá de la capacidad instalada que tenga el reciclador de base, el cual está vinculado directamente al CAPEX que tenga y al que se pueda acceder. El primer caso se espera que dure 10 meses, y en el mes 10 tener una capacidad instalada de 973[kg] mensual con un crecimiento mensual de 100[kg].

El segundo caso cuenta con una enfardadora, que permite aumentar la capacidad instalada desde 1[ton/mes] hasta 28[ton/mes] a finales del quinto año. Esto se consigue mediante una tasa de aumento de la capacidad instalada de 7[ton/año], como se explica en la Tabla 4.8 (que representa el aumento de recolección durante el año 2). Esto debido a inversión en capital fijo, que se financian con deudas bancarias.

En el tercer caso, el proceso de producción cambia, si bien se mantiene la producción y venta de fardos, fijada en 28[ton/mes]. A partir de este año la tasa de crecimiento de 7[ton/año] será destinados solamente a la producción de escamas limpias, así se diversificará la producción y el tipo de ingreso. Entonces, a finales del año 6 se venderán 35[ton] de producto, diferenciadas en 28[ton] de fardos y 7[ton] de escamas. Dichos supuestos se resumen en la Tabla 4.24.

Tabla 4.24: Supuestos de ingresos

Fechas [año]	Cantidad [kg/mes]	Aumento mensual [kg]	Precio [CLP]	Características
1	0 - 999	100	170	Botella pinchada, compactación manual
2-4	1.000 - 27.900	580	320	Botella enfardada
5-7	28.000 +	580	320 y 470	Botella enfardada y Botella en escamas

Supuestos de flujo de caja

Los supuestos de flujo de caja son: durante los primeros 10 meses, se instala un contenedor cada mes, en el mes 5, gracias al capital de trabajo con el que se cuenta, se invierte en un contenedor móvil, esto facilita la recolección de botellas.

En el mes 10, se solicita un crédito solidario de \$3.000.000[CLP], créditos de banco de Chile o banco Estado, con este crédito se compra un triciclo eléctrico y una compactadora.

Desde el mes 10 a finales del año 5, se aumenta la rapidez de recolección, debido a mejoras en transporte y la compactación, el aumento mensual es de 580[kg/mes], lo que equivale a 9 nuevos contenedores cada mes. Además se agrega cada mes una cantidad fija de maxisacos.

En el año 3 se invierte en un camión, con un crédito privado, el cual es a 48 cuotas. Además el año 4, se comienza con la ampliación del galpón, con capital propio y además se compra un segundo camión, el cual es financiado con un crédito privado. Se culmina el año 5 con la instalación de la planta de pretratamiento, con capital propio nuevamente.

A modo de resumen se presenta la Tabla 4.25 que muestra una proyección de compra de maquinaria en los próximos 7 años.

Tabla 4.25: Proyección de compra de maquinaria

Máquina o equipo	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Contenedor	10	82	105	105	105	105	105
Contenedor Móvil	1	0	0	0	0	0	0
Compactadora	0	1	0	0	1	0	0
Torito	1	0	0	0	0	0	0
Camión	0	0	1	1	0	0	1
Maxisaco	15	60	60	60	60	60	60
Cortacartón	6	5	5	5	5	5	6
Molino	0	0	0	0	1	0	0
Tanque separación	0	0	0	0	1	0	0
Lavadora	0	0	0	0	1	0	0
Secadora	0	0	0	0	1	0	0
Transpaleta	0	0	0	0	1	0	0
Equipos de laboratorio	0	0	0	0	1	0	0
Equipos de oficina	0	0	0	0	1	0	0

Fuente: Elaboración propia

Además se presenta el diagrama en la Figura 4.11, el cual presenta de manera resumida las inversiones por cada año y los principales hitos del proyecto.

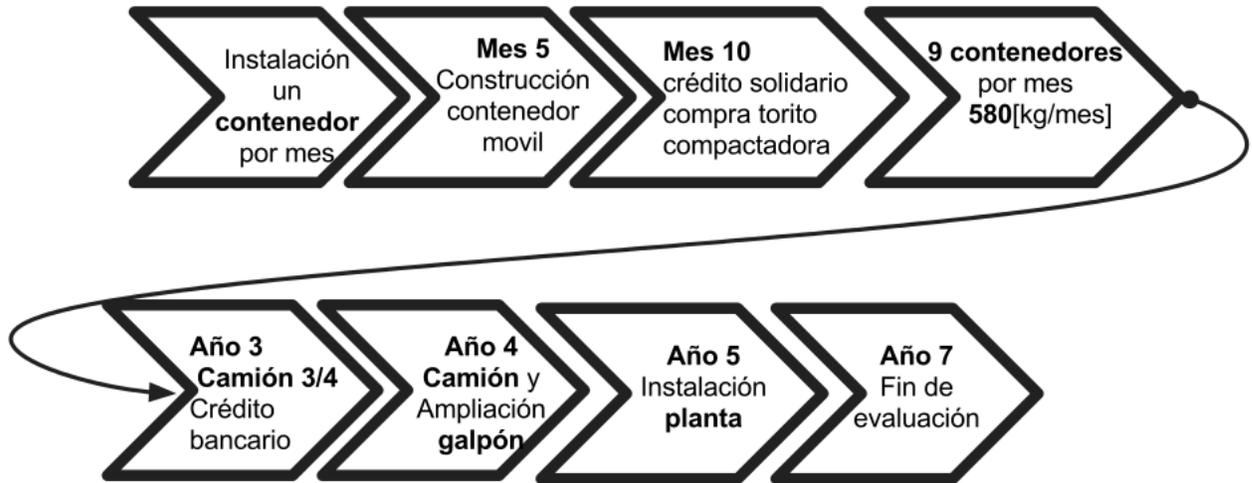


Figura 4.11: Diagrama resumen de inversiones por hito

En la Tabla 4.26 se presenta el flujo de caja evaluado.

Tabla 4.26: Flujo de caja privado

	Año 1 [2017]	Año 2 [2018]	Año 3 [2019]	Año 4 [2020]	Año 5 [2021]	Año 6 [2022]	Año 7 [2023]
Ingresos	1.270.920	18.386.880	47.624.640	77.384.640	107.144.640	149.504.640	191.864.640
<i>Cantidad [kg]</i>	7.476	49.584	131.952	215.952	299.952	84.000	168.000
<i>Precio [CLP]</i>	170	320	320	320	320	470	470
<i>Cantidad [kg]</i>	0	0	0	0	0	299.952	299.952
<i>Precio [CLP]</i>	0	0	0	0	0	320	320
Costos	-1.000.000	-18.562.362	-43.955.737	-45.222.952	-56.556.126	-69.538.782	-81.230.999
Leasing maquinaria	0	0	0	0	0	0	0
Intereses por Crédito	0	-390.299	-1.025.973	-1.217.168	-337.857	0	0
Depreciación	0	-1.550.000	-3.650.000	-6.150.000	0	0	0
Ganancias Capital	0	0	0	0	0	0	0
Perdidas del Ej. Anterior	0	0	-2.065.877	-2.940.674	0	0	0
UAI	278.566	-2.065.877	-2.940.674	22.070.118	50.550.929	80.350.600	111.102.383
Impuesto	52.928	0	0	4.193.322	9.604.677	15.266.614	21.109.453
UDI	225.638	-2.065.877	-2.940.674	17.876.795	40.946.253	65.083.986	89.992.930
Depreciación	0	1.550.000	3.650.000	6.150.000	0	0	0
Ganancias Capital	0	0	0	0	0	0	0
Perdidas del Ej. Anterior	0	0	2.065.877	2.940.674	0	0	0
FLUJO OPERACIONAL	225.638	-515.877	2.775.202	26.967.470	40.946.253	65.083.986	89.992.930
Inversión	-350.000	0	0	-15.000.000	-30.000.000	0	0
Valor Residual	0	0	0	0	0	0	0
Prestamo	0	0	0	0	0	0	0
Amortización	0	-1.465.316	-4.063.227	-5.587.857	-3.233.584	0	0
Capital de Trabajo	0	0	0	0	0	0	0
Rec. Cap. de Trabajo	0	0	0	0	0	0	0
FLUJO DE CAPITALES	-350.000	-1.465.316	-4.063.227	-20.587.857	-33.233.584	0	0
FLUJO DE CAJA	-124.362	-1.981.193	-1.288.024	6.379.613	7.712.669	65.083.986	89.992.930

Como resultado de esto se obtiene el siguiente flujo de caja privado que se presenta en la Tabla 4.27, y en la Figura 4.12 se presenta un gráfico ilustrativo.

El VAN del proyecto es de \$ 29.936.782[CLP], con una tasa del 30 %, esto ya que como proyecto nuevo, no puede ser inferior al 20 % de riesgo y es conveniente para una evaluación más conservadora. Lo cual indica que es un proyecto rentable

La TIR es de 152 %, que representa la velocidad de recuperación de la inversión. El flujo de caja detallado se presenta en Anexos.

Tabla 4.27: Resultados flujo de caja

Año	Año1 [2017]	Año 2 [2018]	Año 3 [2019]	Año 4 [2020]	Año 5 [2021]	Año 6 [2022]	Año 7 [2023]
FLUJO DE CAJA	-594.824	-1.981.193	-1.288.024	6.426.129	7.712.669	65.083.986	89.992.930

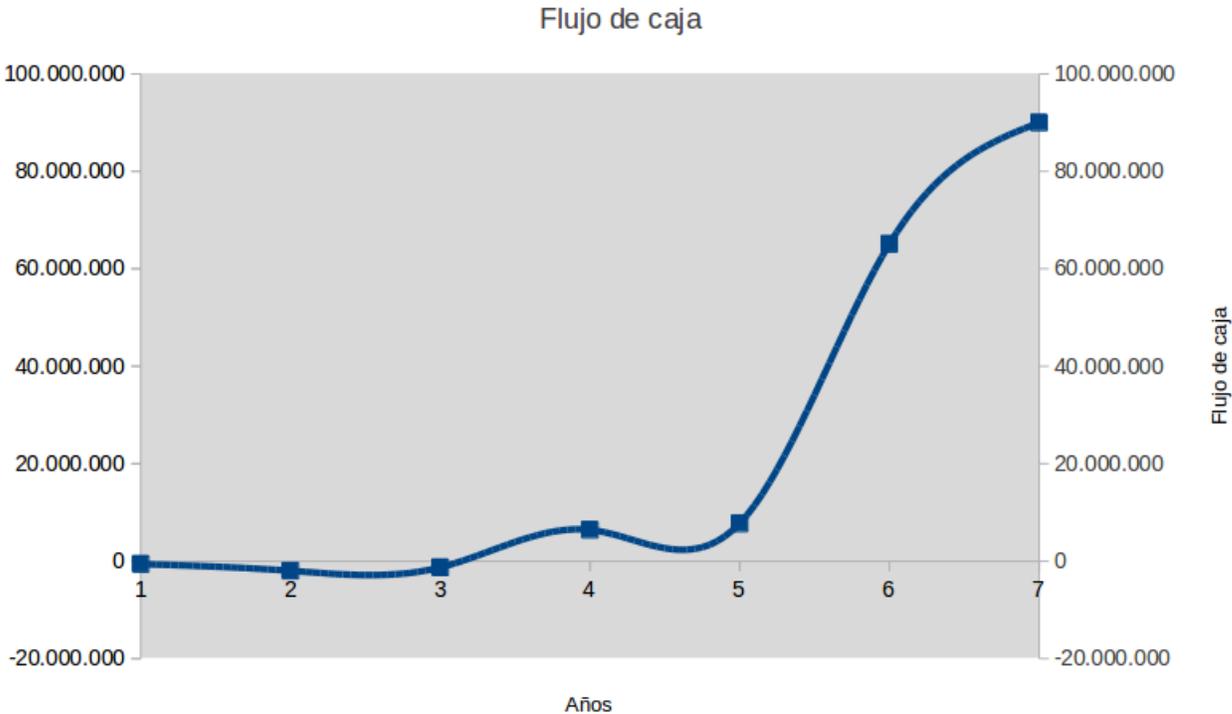


Figura 4.12: Flujo de caja

5. Análisis y discusión de resultados

5.1. Análisis y discusiones de línea de Base

Se describen y definen los diferentes indicadores, además se determina que son cerca de 6.000 los RRBB que trabajan recolectando el PET, dicho de otra forma esta es la población objetivo del proyecto. Si bien no es un número tan grande, en el caso de aumentar la capacidad de cada uno de ellos, se permite un aumento significativo del porcentaje de reciclado de PET en el país. Respecto a la escolaridad, aunque el mayor porcentaje se encuentra en quienes no completaron su educación básica, este es un punto que deberá cambiar, debido a que la nueva ley REP y la presente propuesta, apunta a que los RRBB se conviertan en gestores de residuos y que además se constituyan como una micro empresa, en el mejor de los casos.

De acuerdo a lo revisado anteriormente un 70 % de los RRBB gana menos de \$200.000[CLP], se proyecta que desde el segundo año de iniciado el emprendimiento, el reciclador perciba el doble de esta remuneración, como se especifica en los OPEX de remuneración, lo cual mejora significativamente las condiciones del general de los RRBB. Además quienes trabajan con PET declaran que en promedio perciben casi \$59.000[CLP] por vender este residuo, lo cual es cercano a un 13 % de la renta en el segundo año de proyecto. Esto se debe en su mayoría a la venta de material a intermediarios, los cuales obtienen el mayor beneficio. Por ende el aumentar la capacidad y el procesamiento del material recolectado significa una mayor ganancia para los RRBB.

Respecto a las motivaciones del trabajo, relacionadas con la revitalización de la industria nacional, el convertir en principal beneficiario a quienes recolectan y separan previamente los residuos, en lugar de a los intermediarios, es una opción que está acorde a dicha motivación, generándose así nuevos productos y no solo materia prima barata y sin procesamiento.

De acuerdo a las toneladas por mes que recolectan y venden los RRBB, se desprende que estos tienen la capacidad, en promedio, de vender los residuos recolectados más de una vez al mes. Esto permite realizar proyecciones de venta de material con mayor frecuencia, para así no acopiar tanto material por mes en el hogar o centro de acopio. Cabe destacar que los recolectores tienen una gran importancia en la labor de reciclaje, aportando con un 8 % del 11 % que se recicla según el informe de EcoIng [16]. Todo esto considerando el escaso uso de tecnología para reciclaje y recolección, siendo en su mayoría el uso de triciclos con un 21 % de los casos.

El alto porcentaje de PET importado, no aporta al fomento del reciclaje, sino que mantiene el status quo de la recolección, convirtiendo a la gestión de residuos en una responsabilidad no solo para las empresas que producen las botellas, sino que también a las empresas recicladoras, que compran el material en el extranjero por falta de material recolectado y separado en el país, se hace imperante entonces que de parte de estas empresas existan aportes en la recolección y reciclaje de los residuos generados en el país.

Por último de estos indicadores se desprende el potencial de puestos de trabajo en esta área, existiendo personas que ya trabajan con este material, con potencial para la mejora de procesos, mucha materia prima disponible. Pero con escasa educación, bajo capital de inversión y siendo desfavorecidos por el mercado, debido a su informalidad y poca organización, esto se condice con lo presentado en [9].

5.2. Análisis y discusiones de Prefactibilidad técnica

De los estudios generales de entorno se puede notar que debido al contexto actual en el que se encuentra el país, el cual con la nueva ley de fomento al reciclaje y de responsabilidad extendida al productor, además de las normas relativas a la caracterización de los reciclados de PET, este proyecto presenta un gran potencial, ya que plantea una alternativa para la disminución de los residuos en vertederos y se potencia un aumento de las cuotas de recolección y reciclaje.

La categorización de recolección, mediante el medio de transporte en el que se realiza, representa una utilidad para poder generar transiciones claras entre cada una de estas categorías, permitiendo que cada nuevo reciclador interesado en el reciclaje de botellas PET, pueda comenzar a recolectar desde la categoría de transporte en la que se encuentre y así asimilar fácilmente los pasos que debe seguir para aumentar su capacidad de recolección y por ende sus ingresos.

La caracterización del material a transportar y la capacidad del medio de transporte, permite escoger el modelo matemático de centro de gravedad, el cual depende de la ubicación de los contenedores, y además concientizar sobre el trazado de las rutas de una manera fácil y acotada a la recolección de botellas PET, permitiendo ahorro de combustible y de tiempos de traslado, además de no andar con el camión vacío o "lleno de aire".

Las definiciones realizadas para el crecimiento en bloque son importantes ya que de estas depende el éxito del modelo de recolección, cuando se crece en bloque y de acuerdo a las condiciones reales de crecimiento poblacional y de residuos, entonces cada recolector puede aumentar su capacidad de manera sistemática y de acuerdo a su entorno. Se debe entender también que los vecinos no llenan los contenedores de inmediato, por ende es importante monitorear cada contenedor, para así realizar las tareas de inscripción y sensibilización pertinentes, y reajustar las rutas de acuerdo a cada contenedor y su ubicación.

Para la progresión de recolección a pie, presentada en las Tablas 4.6 y 4.7, se destaca que en el mes 10 de recolección, se recolectan cerca de 980[kg] de botellas, para luego en el mes 11 vender a la empresa recicladora directamente, ya que se consigue recolectar sobre 1 tonelada. Cabe destacar que no fueron estudiados los problemas de almacenamiento para el comienzo del proyecto, debido a que se asume que en estos meses no se cuenta con una compactadora, y que solo se realiza la compactación manual, luego de pincharla con un corta cartón, si bien se reduce el volumen mediante este método, no se consigue la misma densidad que al compactar. Debido a que la recolección a pie se realiza durante el primer año de trabajo, aumentar la instalación y recolección de un contenedor por mes, permite un trabajo no tan intensivo y que además familiariza al recolector con el sistema

propuesto. Para el caso de 2 contenedores al mes, en el mes 6 se alcanza la capacidad esperada para poder vender a las empresas recicladoras, esta alternativa es presentada, pero no es la opción que se sigue para la propuesta, debido a que es mucho volumen que se trabaja en poco tiempo, y representa un cambio demasiado abrupto para quien no recolecta nada o se dedica a realizar otras labores de recolección. Para la progresión en camión 3/4 o camión, el crecimiento tiene mayor rapidez que en el caso anterior, debido a la mayor cantidad que puede ser recolectada por cada vez, lo cual se suma a la experiencia previa adquirida por la separación de residuos. Solo es posible trabajar con todo este volumen por medio de una compactadora, si no es demasiado el espacio necesario para almacenar y clasificar.

Como se describe en los resultados, se selecciona el reciclaje mecánico, por el bajo costo que permite coincidir con el enfoque de la memoria, el cual está orientado a los RRBB. La recolección es una parte importante de este proceso de reciclaje mecánico, debido a que de esta forma se compatibiliza la inclusión de los RRBB con el nuevo ecosistema de reciclaje nacional, otorgando una opción real para quienes ya recolectan o quieren comenzar una actividad laboral de manera independiente. Para poder mostrar claramente los costos de la recolección es que se presenta la Tabla 4.9, la cual divide los recorridos en 4 tipos, es importante destacar que estos valores son variables, dependiendo de la ubicación del centro de acopio.

La etapa de separación manual genera problemas a grandes escalas, ya que cuando son muchas personas, los costos se elevan demasiado, siendo necesaria la evaluación de separación automática. Esta evaluación depende del uso final que tendrá el producto pretratado en planta, ya que cuando no se necesita un color específico o propiedades mecánicas específicas, la separación puede ser más ligera e incluso ser obviada.

Si el proceso de lavado es necesario, entonces la trituración, separación manual y separación por densidad son completamente necesarias. En el caso que se utilice la botella completa, y sin ningún etiquetado, es necesario cambiar el proceso de selección y eliminar los procesos de trituración, lavado, secado y separación por densidad. Se escogen todos los procesos descritos, debido a que estos permiten tener un producto final estándar y que es fácilmente compatible con etapas de reciclaje y creación de nuevos productos, para diferentes solicitudes.

El proceso de control de calidad debe ser realizado por un profesional competente, para que así los informes que se entregan o las mediciones realizadas se encuentren bien hechas y además se puedan respaldar una persona con estudios formales y atinentes al área.

Si bien para la selección de maquinaria se opta por una línea de cañerías de secado, las cuales se calientan mediante resistencias y tienen el mayor consumo de la planta, estas cañerías pueden ser calentadas con vapor, esta opción no es evaluada pero si es un estudio que debe ser considerado a futuro.

Aunque la ubicación de la planta o centro de acopio, no es un lugar calculado para ser óptimo, esta es adecuada, debido a su bajo costo de arriendo, además el énfasis del proyecto no es la ubicación de este, sino la propuesta de un sistema de recolección de residuos que pueda ser replicado. Es

importante destacar de este lugar, que cuenta con posibilidad de ampliación y estacionamientos, los cuales son esenciales para que el centro de acopio que esté bajo las condiciones mínimas para operar en norma.

Del precio de la maquinaria se puede notar claramente que el equipo más costoso es la secadora con \$9.500.000[CLP], la cual es muy importante en el proceso, debido a que un buen secado es esencial. A este costo le sigue la lavadora con \$6.000.000[CLP] y luego el camión con \$4.500.000[CLP]. Los 2 costos más elevados son parte de la planta de pretratamiento y son asumidos a partir recién del año 5, no así con el camión, el cual es adquirido al tercer y cuarto año, siendo esta la inversión más costosa en los primeros años, la cual se ve facilitada por todos los créditos automotrices que existen actualmente.

Como se puede ver en el PFD, el resumen del proceso es solo el pretratamiento que ocurre en la planta, ya que no se incluye el proceso de recolección, pues se realiza fuera de la planta y es descrito de manera separada. Este PFD permite identificar rápidamente las etapas del pretratamiento, para los casos en que producto final tenga requerimientos especiales o distintos a los tradicionales.

En el primer layout solo se considera la compactación y una capacidad de hasta 4 trabajadores en planta, el espacio se encuentra reducido y es acotado solo a trabajo, además los servicios sanitarios, de higiene y alimenticio se encuentran externos a la planta, pero en sus cercanías. Para el segundo layout se cuenta con la planta funcionando a plena capacidad, el área del galpón se duplica y se incorpora toda la maquinaria, la cual permite generar dos productos finales, como lo son los fardos y las escamas limpias y secas de PET.

5.3. Análisis y discusiones de Prefactibilidad económica

El caso estudiado es un ideal, donde no existen problemas ni trabas legales, de contingencia, de capital humano, recursos. En el caso real, esto haría que los resultados de rentabilidad disminuyeran, debido a la necesidad de contar con el capital de trabajo y problemas típicos de labores industriales.

Algunos problemas a los que se puede ver enfrentado el proyecto, según análisis PESTE son cuando comunas no permiten realizar esta iniciativa, debido a la existencia de otra iniciativa en paralelo a la presente, en lo social lo que puede ocurrir que los consumidores viertan otros residuos en los contenedores, y en el ámbito tecnológico es posible que no haya disponibilidad de maquinaria en el país y la importación de esta aumente demasiado los costos de inversión .

El VAN da positivo, debido a lo bajo de los costos de inversión y de materia prima, ya que el proceso de producción se basa en recolección de una materia prima que es gratis, lo cual disminuye considerablemente los costos.

Si bien en lo económico la rentabilidad del proyecto es positiva, el acceder a créditos y fondos estatales o iniciativas público privadas, depende en gran medida de la aprobación por parte de los

bancos y de la situación económica de cada reciclador, pudiendo ser este el factor que detenga todo el proyecto.

A pesar de esto, los beneficios social y ambiental son positivos a simple vista, pero es necesario realizar estudios precisos sobre el impacto social y ambiental de este proyecto, ya que este no funciona sin la participación de la sociedad, o en el caso que ambientalmente este proyecto sea dañino para el medio ambiente.

Una de las principales ventajas de este proyecto es que se puede comenzar a trabajar sin una inversión grande en capital de trabajo, permitiendo ahorrar dinero, para poder invertir, esto se refleja en el valor de la TIR por sobre el 100%, lo cual implica una recuperación de la inversión muy rápida.

6. Conclusiones

El presente trabajo se caracteriza principalmente por 2 objetivos específicos, la línea de base sobre las condiciones actuales del ecosistema del reciclaje para los RRBB y la ingeniería de perfil del sistema de recolección de residuos para la planta de pretratamiento de botellas PET, esto para caracterizar el público objetivo del proyecto en primera instancia y el desarrollo de la ingeniería de perfil para este público, incluyendo una propuesta para ellos.

Sobre la línea de base, las dificultades fueron ligadas a la escasez de información actualizada y precisa sobre los recolectores informales de Chile, pero el objetivo se cumple mediante la metodología de entrevistas propuesta y además gracias a que mediante una de estas entrevistas, se obtiene el catastro sociolaboral de recicladores de la región metropolitana. Lo más importante de la línea de base, es la cuantificación de indicadores, los cuales se espera cambien a favor de los RRBB.

Sobre la ingeniería de perfil, es importante destacar que fue planteada en un principio como un proceso para agregar valor al trabajo de los RRBB de Santiago, y que para cumplir dicho objetivo fue necesario el contacto directo con recolectores tanto informales como formales, además de revisión de los actuales procesos de reciclaje implementados en países subdesarrollados. Las principales dificultades fueron los contactos con los recicladores, ya que desde la academia es inexistente el nexo con el sector informal. Por otro lado, tanto el primer objetivo, de agregar valor al trabajo de los RRBB de Santiago, como el actual objetivo del sistema de recolección de residuos para la planta de pretratamiento de botellas PET, se cumplen, ya que se diseña y evalúa la planta, con la precisión de un perfil, pero además los resultados obtenidos permiten proponer un sistema de recolección que de manera progresiva agrega valor al trabajo que estos realizan.

Lo más importante del proyecto, sin duda es la ingeniería de perfil desarrollada, ya que su evaluación técnica y económica, permiten declarar la viabilidad del proyecto, con una capacidad instalada de 42 [toneladas] a finales del séptimo año, con 2 productos finales para producir (fardos y escamas), una baja inversión de capital inicial, una TIR sobre el 100% y un VAN cercano a los \$30.000.000[CLP]

El aporte concreto del proyecto radica en la generación de empleos formales, con el perfil de emprendedores, para los RRBB de Santiago, actuales gestores de residuos. Quienes pueden tomar la propuesta generada e implementarla de acuerdo a la categoría en la que se encuentren, que puede ser a pie, en triciclo eléctrico, camión 3/4 o camión. Permitiendo que al final del segundo año de implementado el proyecto, tengan una renta de \$400.000[CLP]

Para el futuro es necesario seguir investigando y trabajando en diversas áreas del proyecto, tales como:

- La transición de la informalidad a la formalidad, con ayuda de fundaciones y ONG's afines, tales como Casa de la Paz. Para lograr una organización fuerte y que potencie el trabajo que ya realizan, con proyectos como este.

- La concientización de la ciudadanía respecto al tema de separación de residuos en origen, en especial aquellos que pueden ser valorizados, como las latas de aluminio, el vidrio, papel y plásticos en general. Para así aumentar las tasas de separación, recolección y reciclaje del país.
- Estudios acotados a la realidad de los RRBB, relacionados con los problemas de almacenamiento, en especial para almacenar las botellas PET, debido a su gran volumen y bajo peso. Esto se puede conseguir mediante diseños de botellas que sean fácilmente compactables.
- Evaluación de mejora en maquinaria del proceso, como máquina de separación automática de residuos y el uso de vapor en la línea de cañerías de secado.
- Precisar los costos asociados a problemas legales, de contingencia, de capital humano, y recursos. Además estudios sobre el impacto social y ambiental del proyecto.

Bibliografía

- [1] Firas Awaja and Dumitru Pavel. Recycling of {PET}. *European Polymer Journal*, 41(7):1453 – 1477, 2005.
- [2] Alfredo Argueta Amador. Proyecto de inversión en una planta recicladora de pet en el estado de puebla. http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/mepi/argueta_a_a/, Octubre 2006. Acceso: 2016-10-24.
- [3] Chong qing Wang, Hui Wang, Jian gang Fu, and You nian Liu. Flotation separation of waste plastics for recycling—a review. *Waste Management*, 41:28 – 38, 2015.
- [4] Chong-Qing Wang, Hui Wang, and You-Nian Liu. Separation of polyethylene terephthalate from municipal waste plastics by froth flotation for recycling industry. *Waste Management*, 35:42 – 47, 2015.
- [5] Alma Rosa Tapia Tapia. Industrialización y exportación de plástico (pet) caso: comercializadora de plástico relive a. en p. <http://ri.uaq.mx/bitstream/123456789/595/1/RI000221.pdf>, Septiembre 2012. Acceso: 2016-10-24.
- [6] Remi Jaligot, David C. Wilson, Christopher R. Cheeseman, Berti Shaker, and Joachim Stretz. Applying value chain analysis to informal sector recycling: A case study of the zabaleen. *Resources, Conservation and Recycling*, 114:80 – 91, 2016.
- [7] C. Bartone. The value in wastes. *Decade Watch*, 1988.
- [8] M. Medina. Supporting scavenger cooperatives in colombia. *BioCycle*, 1997.
- [9] David C. Wilson, Costas Velis, and Chris Cheeseman. Role of informal sector recycling in waste management in developing countries. *Habitat International*, 30(4):797 – 808, 2006. Solid Waste Management.
- [10] Martín Medina. Reciclaje de desechos sólidos en américa latina. *Frontera Norte*, 11(21), 1999.
- [11] Carolina Silva. *Modelo de encadenamiento productivo para un reciclaje sustentable*. Gerdau Aza, 2012.
- [12] Fundación Casa de la Paz. *Catastro sociolaboral de recicladores de la región metropolitana*. Diciembre 2015. Primera Edición.
- [13] Regional Platform for Evaluation Capacity Building in Latinamerica and the Caribbean. *Los estudios de base, fundamentos de una gestión por resultados*. Junio 2007. Primera Edición.
- [14] T.M. Coelho, R. Castro, and J.A. Gobbo Jr. {PET} containers in brazil: Opportunities and challenges of a logistics model for post-consumer waste recycling. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(3):291 – 299, 2011.
- [15] Felipe Luengo. *Estudio de diversificación de la cadena de reciclaje inclusiva*. Fundación Casa de la Paz, 2014. Primera Edición.

- [16] EcoIng. Evaluación de impactos económicos, ambientales y sociales de la implementación de la responsabilidad extendida del productor en Chile. sector envases y embalajes. Technical report, Junio 2012.
- [17] Seremi del Medio Ambiente de la Región Metropolitana de Santiago and Fundación Casa de la Paz. *Documento de trabajo, Modelo de gestión de reciclaje inclusivo región metropolitana*. Noviembre 2016. Primera Edición.
- [18] Salvador N. et al. Diseño de un sistema de recolección de residuos de botellas de plástico mediante la metodología de checkland optimizada por dos modelos matemáticos. *Revista Virtual Pro*, (167):1–29, 2015.
- [19] Tomás Oviedo. Estudio de factibilidad para planta de reciclado de residuos de plástico pet. Agosto 2014. Universidad Nacional de Córdoba.