



**UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA Y BIOTECNOLOGÍA**

**EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE UNA  
PLANTA DE PRODUCCIÓN DE PANELES AISLANTES TÉRMICOS A PARTIR  
DE PLÁSTICO DESECHADO.**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA CÍVIL QUÍMICA**

**ELISA ALEJANDRA DÍAZ CARNIGLIA**

**PROFESOR GUÍA:  
FELIPE DÍAZ ALVARADO**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
RAÚL QUIJADA ABARCA  
JUAN IGNACIO ÁVILA FELLAY**

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por la empresa Avifel y por la Cámara Chilena de la Construcción de la provincia de Osorno.

**SANTIAGO DE CHILE  
AGOSTO, 2014**

RESUMEN DE LA MEMORIA  
PARA OPTAR AL TÍTULO DE:  
INGENIERA CIVIL QUÍMICA  
POR: ELISA DÍAZ CARNIGLIA  
FECHA: AGOSTO 2014  
PROFESOR GUÍA: FELIPE DÍAZ  
ALVARADO

## EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE PANELES AISLANTES TÉRMICOS A PARTIR DE PLÁSTICO DESECHADO

Desde la década de 1950, la producción de plástico a nivel mundial ha experimentado un aumento de más del 25.000%, lo que sumado a su lenta degradabilidad, ha ocasionado graves problemas medioambientales. Esto ha motivado el desarrollo del presente trabajo, que tiene como objetivo realizar una evaluación técnica y económica a nivel de prefactibilidad de la instalación de una planta productora de paneles aislantes térmicos, empleando plástico desechado como materia prima.

Se definió un caso base que contempla el tratamiento de 42 toneladas mensuales de materia prima. A partir de la conductividad térmica de los paneles, que se estimó en  $0,028 \left[ \frac{W}{m \cdot K} \right]$ , se determinó que este flujo de plástico permite fabricar paneles suficientes para cubrir el 44,7% de los requerimientos de aislación de la ciudad de Osorno.

Se optó por emplear un proceso productivo que no requiera realizar una clasificación exhaustiva de plásticos, lo que permite minimizar el flujo desechado de estos y disminuir el costo operacional; y se prescindió de etapas de lavado, para minimizar el uso de agua. El proceso propuesto contempla las siguientes etapas: conminución, homogenización y prensado. Los equipos fueron dimensionados considerando que la planta opera 8 horas diarias durante 5 días a la semana.

Los costos de inversión estimados ascienden a 330.000 [USD], mientras que los costos de operación alcanzan entre 310.000 y 330.000 [USD] anuales. Para realizar la evaluación económica se contemplaron 3 escenarios de financiamiento: 0%, 50% y 100% de préstamo de la inversión inicial, obteniéndose un Valor Actual Neto de -1.320.000 [USD], -1.180.000 [USD] y -1.040.000 [USD] respectivamente, lo que indicaría que el proyecto no es económicamente rentable. Esto se asocia principalmente a que los costos de operación y de la materia prima son muy altos en relación al potencial precio de venta del panel. Sin embargo, el proyecto podría tornarse rentable considerando un escenario en que se reciba un pago por el retiro de los desechos.

Finalmente, se sugiere optimizar el diseño y las condiciones de fabricación de los paneles propuestos, determinar su conductividad térmica con un menor margen de error y realizar una evaluación social del proyecto. Además, se recomienda estudiar otras aplicaciones para el panel, que permitan obtener mayores ingresos, y eventualmente, volverlo económicamente rentable.

## Dedicatoria

A mis padres, Claudia y Mauricio, por el amor infinito, la paciencia eterna y el apoyo incondicional. Por respetar mis espacios y mis decisiones. Porque durante todos estos años han buscado motivos para estar orgullosos de mí. Porque de los muchos privilegios que me ha dado la vida, ser su hija es por lejos el mayor de todos.

A mi hermano Gabriel, por su carácter reflexivo, por cada momento regalado, por tenerme paciencia y aceptar mis errores. Por ser una de las personas más interesantes y geniales que conozco.

A mi familia, incluidos los que ya no están, o ya no me recuerdan, por el cariño y el apoyo constante.

A Felipe, por creer siempre en mí. Por escucharme, aconsejarme, educarme, cuidarme. Por ser uno de los mejores profesores que he tenido en mi vida.

A Pastora, por estar siempre presente. Por el amor, los detalles, los consejos, la confianza. Por escucharme aun en mis peores momentos, y acompañarme desde hace tantos, tantos años. Por enseñarme el valor de la amistad desde que estábamos en la sala cuna.

A mis compañeros Gabriel, Miriam, Jorge Miranda, Daniela, Carla, Andrea, Jorge Meza, Guillermo, Juan, Ignacio, Javier, Matías, Ximena, Valeria, Vanessa, Bayron, Emiliano, Rodrigo, Jorge Sánchez y Ricardo, por el compañerismo, la buena disposición, la solidaridad. Por cada momento compartido. Porque la Universidad se volvió tanto mejor cuando los conocí. Porque transformaron este proceso en una buena experiencia.

A Lili, por ser mi alma gemela. Por cuidarme, acompañarme, escucharme. Por todo lo que he aprendido de ti. Porque cada momento que compartimos me hace inmensamente feliz.

A Moisés, Letsan y Gustavo, por los almuerzos, las tardes de estudio, las risas y la amistad que perdura, pese a la falta de tiempo y a la distancia que en algunas ocasiones nos ha separado.

A Igor, por la confianza, la paciencia, los diálogos interminables. Por cuidarme y regalarme. Porque nuestras peleas son las mejores. Porque contigo puedo sentirme completamente libre, sin miedo a ser juzgada. Porque admiro profundamente lo buen amigo que eres.

A Gustavo, Álvaro, Carmen y Fabián por las sonrisas, el cariño y los detalles.

A mis amigos Amparo, Macarena, Mijail, Catalina, Camila, Astrid, Beatriz, Sebastián y Gabriela, por el cariño, las conversaciones eternas, los paseos a la playa, las mil y una

anécdotas. Porque lo paso increíble cada vez que estoy con ustedes. Por acompañarme incluso en los suicidios de la razón. Porque atesoro cada momento que hemos compartido. Porque son fabulosos.

A Leonor Arancibia y Francisco Santamaría, por su sabiduría, buena disposición, y en especial, por transmitirme ese amor por la docencia que tanto caracterizaba las clases que tuve con ustedes.

A todos quienes día a día, y muchas veces de forma anónima, y desinteresada, entregan una parte de sí para ayudar a construir un mundo mejor.

Y finalmente, y de forma muy especial, a Eliseo, también conocido como Fano, por ser mi compañero, mi amigo, y mi confidente durante más de 5 años. Por la creatividad, la confianza y la espontaneidad. Por quererme, cuidarme y hacerme reír. Por llenarme día a día el corazón de amor y felicidad. Porque toda experiencia es mejor si puedo compartirla contigo.

## Agradecimientos

A la vida, por todos los privilegios que me ha otorgado, en especial el de ser feliz, en un mundo injusto, segregado, violento y muchas veces marcado por el individualismo y la falta de empatía.

A Ignacio, por proponer este tema y por escogerme para trabajar en él. Aprecio profundamente la confianza depositada y los aportes realizados. Agradezco también a su familia, por acogerme en su casa cuando viajé a Osorno, y tratarme con tanta hospitalidad y cariño.

A Jaime Pinninghoff, por su asesoría, su buena disposición para resolver mis dudas, y en especial, por atreverse a hacer algo diferente.

A Felipe, por el tiempo dedicado, sus importantes comentarios, sus sabios consejos y por la libertad que me otorgó para plantear y realizar este trabajo.

Al grupo de memoristas, por sus críticas, sugerencias y aportes, y en especial, por su compañía.

A Gabriel e Igor, por su ayuda en los ensayos de conductividad térmica. A Gabriel además agradezco haberme ayudado a analizar los datos obtenidos, a dibujar mi diagrama de flujos y a pensar, cuando no había ninguna respuesta.

Al profesor Aldo Casali, por la asesoría en equipos de conminución.

A Gustavo, por su ayuda con la molienda de los plásticos, y al Departamento de Ingeniería Mecánica, por facilitarme sus equipos e instalaciones.

A Omar Gutiérrez, por la asesoría en polímeros, y a Juan Benavides, por ayudarme en la elaboración de los paneles en el Laboratorio de Polímeros.

A Jorge Castillo, por permitirme usar las instalaciones del Laboratorio de Fluidos para realizar los ensayos de conductividad térmica.

A Valeria Proboste y Enzo Vergara, por realizar las estimaciones de los costos de los equipos.

A Daniel Vergara y Bastián Mellado, del área de aglomeraciones del IDIEM, por su buena disposición.

A Gina, por su ayuda para resolver múltiples asuntos administrativos.

Y por último, a mis padres, por sus minuciosas y valiosas correcciones.

# Tabla de contenido

<b>1.</b>	<b>Introducción .....</b>	<b>1</b>
1.1.	Marco teórico: .....	1
1.1.1.	Clasificación: .....	2
1.1.2.	Tipos de plásticos y usos principales: .....	5
1.2.	Antecedentes de consumo a nivel mundial: .....	5
1.3.	Los plásticos y el medio ambiente: .....	6
1.3.1.	Degradación ambiental: .....	6
1.3.2.	En el mundo: .....	7
1.3.3.	En Chile: .....	7
1.3.4.	En Osorno: .....	9
1.3.5.	Composición de los residuos plásticos: .....	9
1.4.	Recuperación de plásticos: .....	10
1.4.1.	Reutilización: .....	10
1.4.2.	Reciclado: .....	10
1.4.3.	Recuperación energética: .....	10
1.5.	Materiales de construcción plásticos: .....	11
1.6.	Materiales aislantes: .....	13
1.7.	Objetivos .....	14
1.7.1.	Objetivo principal: .....	14
1.7.2.	Objetivos específicos: .....	15
<b>2.</b>	<b>Alternativa propuesta .....</b>	<b>16</b>
2.1.	Materia prima .....	16
2.2.	Características del panel .....	16
2.2.1.	Conductividad térmica: .....	16
2.2.2.	Disponibilidad de la materia prima: .....	17
2.2.3.	Facilidad de procesamiento: .....	17
2.3.	Proceso .....	17
2.3.1.	Reciclaje mecánico: .....	17
2.3.2.	Reciclaje químico: .....	18
2.3.3.	Ventajas y desventajas: .....	18
2.4.	Alternativa escogida: .....	19

2.5.	Proceso propuesto: .....	20
2.5.1.	Etapas:.....	20
2.5.2.	Diagrama de flujos:.....	21
<b>3.</b>	<b>Procedimiento experimental.....</b>	<b>22</b>
3.1.	Elaboración de paneles:.....	22
3.2.	Medición de la conductividad térmica: .....	28
<b>4.</b>	<b>Ingeniería conceptual .....</b>	<b>37</b>
4.1.	Definición del caso base: .....	37
4.2.	Dimensionamiento:.....	37
<b>5.</b>	<b>Evaluación económica.....</b>	<b>39</b>
5.1.	Ingresos: .....	39
5.2.	Economía potencial: .....	40
5.3.	Costos de Inversión (CAPEX): .....	40
5.4.	Costos de operación (OPEX): .....	42
5.5.	Valor Actual Neto: .....	44
5.6.	Análisis de Sensibilidad:.....	44
5.6.1.	Precio plástico:.....	44
5.6.2.	Precio panel: .....	45
5.6.3.	Capacidad:.....	46
<b>6.</b>	<b>Discusiones.....</b>	<b>47</b>
<b>7.</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>49</b>
	<b>Bibliografía.....</b>	<b>51</b>
	<b>Anexos:.....</b>	<b>53</b>
A)	Datos experimentales: .....	53
B)	Ejemplo de cálculo para realizar del análisis de los datos experimentales: .....	63
C)	Cálculo del caso base .....	65
D)	Dimensionamiento equipos.....	66
E)	Dimensionamiento bodegas:.....	68
F)	Evaluación económica: .....	71
F.1)	Costos de inversión (CAPEX):.....	71

F.2) Costos de operación (OPEX) .....	73
F.3) Flujo de caja: .....	76



## Índice de Tablas

<b>Tabla 1:</b> Representación de las configuraciones adoptadas por homopolímeros y copolímeros. ....	3
<b>Tabla 2:</b> Tipos de plásticos más comunes y sus principales usos. ....	5
<b>Tabla 3:</b> Composición del flujo anual de plásticos desechados en Estados Unidos. ....	9
<b>Tabla 4:</b> Poder calorífico de algunos plásticos de desecho domiciliario. ....	11
<b>Tabla 5:</b> Poder calorífico de diferentes materiales. ....	11
<b>Tabla 6:</b> Materiales aislantes, densidad aparente y conductividad térmica a 20 [°C]. ...	14
<b>Tabla 7:</b> Ventajas y desventajas del reciclado mecánico y químico. ....	19
<b>Tabla 8:</b> Ensayos realizados en cada sesión. ....	30
<b>Tabla 9:</b> Dimensiones de los equipos. ....	37
<b>Tabla 10:</b> Dimensiones de las bodegas. ....	38
<b>Tabla 11:</b> Dimensiones de los paneles comerciales de PS expandido y de plásticos desechados. ....	39
<b>Tabla 12:</b> Costos directos de la inversión. ....	41
<b>Tabla 13:</b> Costos indirectos de la inversión. ....	41
<b>Tabla 14:</b> Otros costos asociados a la inversión. ....	42
<b>Tabla 15:</b> Costos fijos de operación. ....	43
<b>Tabla 16:</b> Costos variables de operación. ....	43
<b>Tabla 17:</b> Costos indirectos de operación. ....	43
<b>Tabla 18:</b> Valor Actual Neto del proyecto con préstamos del 0%, 50% y 100% de la inversión inicial. ....	44
<b>Tabla 19:</b> Valor Actual Neto y Tasa Interna de Retorno obtenidos al variar el precio de compra del plástico. ....	45
<b>Tabla 20:</b> Actual Neto y Tasa Interna de Retorno obtenidos al variar el precio de venta de los paneles elaborados. ....	45
<b>Tabla 21:</b> Valores Actuales Netos obtenidos si se aumenta 3, 9 y 18 veces la capacidad productiva de la planta, con un préstamo del 50% de la inversión inicial. ....	46
<b>Tabla 22:</b> Valores Actuales Netos obtenidos si se aumenta 3, 9 y 18 veces la capacidad productiva de la planta, y el precio de adquisición de la materia prima es nulo o negativo, con un préstamo del 50% de la inversión inicial. ....	46
<b>Tabla 23:</b> Datos experimentales para el panel 1. ....	53
<b>Tabla 24:</b> Datos experimentales para el panel 2, primera prueba. ....	54
<b>Tabla 25:</b> Datos experimentales para el panel 2, segunda prueba. ....	55
<b>Tabla 26:</b> Datos experimentales para el panel 3. ....	56
<b>Tabla 27:</b> Datos experimentales para el panel 4. ....	57
<b>Tabla 28:</b> Datos experimentales para el panel 5. ....	58
<b>Tabla 29:</b> Datos experimentales para el panel 6. ....	59
<b>Tabla 30:</b> Datos experimentales para el panel 7, primera prueba. ....	60
<b>Tabla 31:</b> Datos experimentales para el panel 7, segunda prueba. ....	61
<b>Tabla 32:</b> Datos experimentales para el panel 8, primera prueba. ....	62
<b>Tabla 33:</b> Datos experimentales para el panel 8, segunda prueba. ....	63

<b>Tabla 34:</b> Valor de las variables empleadas para el ejemplo.....	63
<b>Tabla 35:</b> Valor de los parámetros empleados para el ejemplo. ....	64
<b>Tabla 36:</b> Requerimientos de aislación de una casa de 70[m2 ]. ....	65
<b>Tabla 37:</b> Composición del flujo de plásticos. ....	68
<b>Tabla 38:</b> Composición del aire .....	69
<b>Tabla 39:</b> Costo de los suministros.....	71
<b>Tabla 40:</b> Costos asociados a otros suministros.....	71
<b>Tabla 41:</b> Total costos directos de la inversión. ....	72
<b>Tabla 42:</b> Costos Indirectos de la inversión. ....	73
<b>Tabla 43:</b> Otros costos asociados a la inversión. ....	73
<b>Tabla 44:</b> Costos fijos de operación. ....	74
<b>Tabla 45:</b> Costos variables de operación .....	74
<b>Tabla 46:</b> Costos indirectos de operación.....	74
<b>Tabla 47:</b> Total costos de operación.....	75
<b>Tabla 48:</b> Flujo de caja del proyecto sin financiamiento, entre el año 0 y el 7, en [USD] .....	76
<b>Tabla 49:</b> Flujo de caja del proyecto sin financiamiento, entre el año 8 y el 15, en [USD] .....	77
<b>Tabla 50:</b> Flujo de caja del proyecto con financiamiento del 50% de la inversión inicial, entre el año 0 y el 7, en [USD]. ....	78
<b>Tabla 51:</b> Flujo de caja del proyecto con financiamiento del 50% de la inversión inicial, entre el año 8 y el 15, en [USD]......	80
<b>Tabla 52:</b> Flujo de caja del proyecto con financiamiento del 100% de la inversión inicial, entre el año 0 y el 7, en [USD]. ....	81
<b>Tabla 53:</b> Flujo de caja del proyecto con financiamiento del 100% de la inversión inicial, entre el año 8 y el 15, en [USD]......	82

## Índice de Figuras

<b>Figura 1:</b> Polímeros clasificados de acuerdo a su tipo de cadena.....	3
<b>Figura 2:</b> Producción anual de plástico a nivel mundial.....	6
<b>Figura 3:</b> Tasa anual de generación de RSM por habitante .....	8
<b>Figura 4:</b> Tasa anual de consumo de plástico por habitante .....	8
<b>Figura 5:</b> Algunos de los productos ofrecidos por Zicla .....	12
<b>Figura 6:</b> Oferta de productos de Ingepol Outdoor.....	13
<b>Figura 7:</b> Diagrama de flujos del proceso productivo propuesto.....	21
<b>Figura 8:</b> Prensa de laboratorio empleada en la elaboración de los paneles de plástico. .....	23
<b>Figura 9:</b> Paneles elaborados con plástico de desecho.....	28
<b>Figura 10:</b> Montaje experimental.....	29
<b>Figura 11:</b> Carta de Heisler .....	32
<b>Figura 12:</b> Variación de la temperatura en la superficie de los paneles en función del tiempo.....	33
<b>Figura 13:</b> Detalle de los resultados obtenidos para los paneles elaborados.....	34



# Capítulo 1

## 1. Introducción

En los últimos años el consumo y desecho de materiales plásticos ha experimentado un aumento vertiginoso, lo que ha ocasionado severos daños a múltiples especies de flora y fauna en todo el planeta. Esto se debe a que tardan cientos de años en degradarse, por lo que se han acumulado progresivamente en ríos, suelos y océanos, y a que liberan y/o captan diversas sustancias tóxicas a medida que se descomponen.

Desde hace algunos años, diversas organizaciones medioambientalistas han concentrado sus esfuerzos en educar a la población respecto a los daños asociados al desecho desmedido de plásticos, y a la necesidad de mantener un consumo informado y responsable de estos, sin embargo, resulta difícil cambiar conductas que están muy arraigadas en las poblaciones.

Este trabajo surge como respuesta a la crisis medioambiental generada por el desecho constante de materiales plásticos, no obstante, no propone una solución para la verdadera causa del problema, que radica en el consumo desmedido e innecesario de los seres humanos, y la falta de conciencia medioambiental.

### 1.1. Marco teórico:

Los polímeros son compuestos obtenidos a partir de la unión de un gran número de moléculas, denominadas monómeros, por medio de una reacción de polimerización. Pueden ser naturales o artificiales; estos últimos son conocidos como “plásticos” [1], y se fabrican industrialmente a partir de sustancias derivadas del petróleo o del gas natural [2].

Debido a la amplia variedad de materiales plásticos desarrollados, y a su diversidad de propiedades, presentan múltiples aplicaciones, que pueden ser genéricas o muy específicas. Se estima que en la actualidad la producción mundial de plástico alcanza las 280 millones de toneladas [3]; sin embargo, su fabricación a nivel industrial se inició hace menos de un siglo, a partir de las investigaciones del químico Leo Baekeland, y se intensificó luego de la II Guerra Mundial [4].

Entre sus principales ventajas cabe señalar [5]:

- Gran versatilidad, por lo que puede adaptarse a necesidades muy específicas.
- Menor peso, lo que disminuye el costo de transporte en relación a sus competidores.
- Inferior costo de producción.
- Propiedades de higiene adecuadas para envolver alimentos y otras sustancias.
- Durabilidad.
- Resistencia a agentes químicos y agua.
- Buena aislación térmica y eléctrica.
- Adecuado para combinarse con otros materiales, formando compósitos.
- Resistencia a impactos.

En tanto, posee las siguientes desventajas [5]:

- Su producción emplea químicos potencialmente peligrosos.
- Su lenta degradación, sumado a la falta de políticas para la gestión adecuada de sus residuos, generan un alto impacto medioambiental.

### **1.1.1. Clasificación [1]:**

Los polímeros pueden ser clasificados según numerosos criterios; a continuación se señalan algunos de ellos:

#### **1.1.1.1. De acuerdo al tipo de cadena:**

- Lineales: No presentan ramificaciones.
- Ramificados: Presentan ramificaciones unidas a la cadena principal.
- Entrecruzados: Presentan cadenas que a su vez se enlazan con cadenas vecinas.
- Red: Presentan cadenas entrecruzadas, formando estructuras tridimensionales.

En la Figura 1 se aprecia un esquema de cada uno:

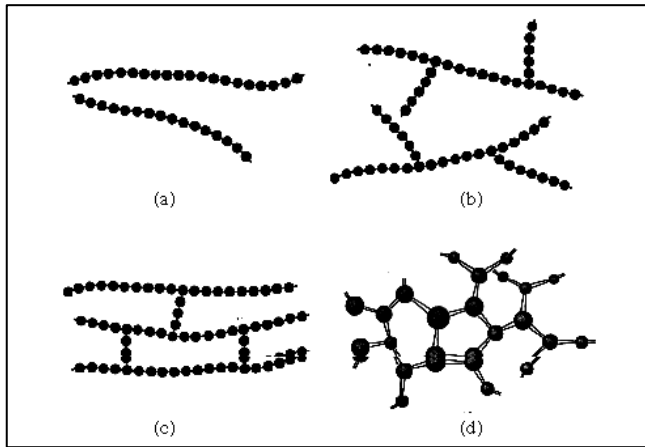


Figura 1: Polímeros clasificados de acuerdo a su tipo de cadena. Cada esfera representa un monómero. (a) Polímero lineal; (b) Polímero ramificado; (c) Polímero entrecruzado; (d) Polímero de red [1].

**1.1.1.2. De acuerdo a su composición:**

- Homopolímero: Está formado por una clase de monómero.
- Copolímero: Contiene más de un monómero en su estructura.

Las distintas configuraciones que pueden ser adoptadas se presentan en la Tabla 1:

Tabla 1: Representación de las configuraciones adoptadas por homopolímeros y copolímeros [6].

Monómero	Polímero		Representación
A	Homopolímero		...A-A-A-A-A-A...
B			...B-B-B-B-B-B...
A + B	Copolímero	Alternado	...A-B-A-B-A-B...
		En bloque	...A-A-A-B-B-B-A-A-A...
		De injerto	B-B-B...   ...A-A-A-A-A-A-A...   ...B-B-B-B-B
		Aleatorio	...A-B-B-A-A-B-A-A-A...

**1.1.1.3. De acuerdo a su comportamiento térmico:**

- Termoplásticos: Al aplicarles calor pasan a un estado líquido viscoso, lo que permite moldearlos mediante presión; luego, al enfriarse, se solidifican, adoptando la forma deseada permanentemente. Este proceso puede realizarse varias veces, por lo que estos polímeros son aptos para ser reciclados. Presentan cadenas lineales o ramificadas, pero sin entrecruzamiento [6].

- Termoestables: Permanecen rígidos ante la presencia de calor, debido a que poseen estructuras sólidas producto de su alto grado de entrecruzamiento.

#### **1.1.1.4. De acuerdo a su origen:**

- Natural: Se encuentran en la naturaleza, y no han sido intervenidos artificialmente. A modo de ejemplo se puede mencionar la celulosa, los polisacáridos y el caucho natural.
- Semisintético: Se obtiene a partir de polímeros naturales sometidos a ciertas modificaciones, como por ejemplo, el caucho vulcanizado.
- Sintético o plástico: Se fabrica artificialmente a partir de monómeros obtenidos de la destilación fraccionada del petróleo, mediante una reacción de polimerización. Los más comunes son el polietileno (PE), polipropileno (PP), polietileno de tereftalato (PET), policloruro de vinilo (PVC) y poliestireno (PS).

#### **1.1.1.5. De acuerdo a su medio de polimerización:**

- De adición: El polímero se obtiene a partir de monómeros que no poseen grupos funcionales, por lo que este corresponde a la unidad repetitiva.
- De condensación: El polímero se forma con monómeros que presentan grupos funcionales, como por ejemplo amidas, ésteres o éteres. En este caso, la unidad repetitiva está compuesta por la unión de 2 o más monómeros distintos.

#### **1.1.1.6. De acuerdo a su comportamiento mecánico [2]:**

- Plástico: Al ser sometido a un esfuerzo suficientemente intenso, se deforma de manera irreversible.
- Caucho o elastómero: Tiene un bajo módulo de elasticidad y alta extensibilidad, lo que implica que experimenta grandes deformaciones al ser sometido a un esfuerzo, y luego de retirarlo recupera su forma inicial.
- Fibra: Presenta un alto módulo de elasticidad y baja extensibilidad, lo que le permite mantener sus dimensiones al ser sometido a un esfuerzo, por lo que se emplea para elaborar tejidos.

#### **1.1.1.7. De acuerdo a su cristalinidad [6]:**

- Cristalinos: Predominan las zonas en las que sus moléculas se encuentran ordenadas en las 3 dimensiones.
- Amorfos: Presentan principalmente zonas en las cuales las cadenas se enmarañan, sin seguir orden alguno.



### 1.1.2. Tipos de plásticos y usos principales:

Los plásticos se emplean como materia prima para fabricar una amplia gama de productos, entre los que se cuentan envases de todo tipo, contenedores, juguetes, piezas automotrices, ropa, calzado, pinturas, artículos electrónicos y otros [2]. Los más comunes se presentan en la Tabla 2 [2]:

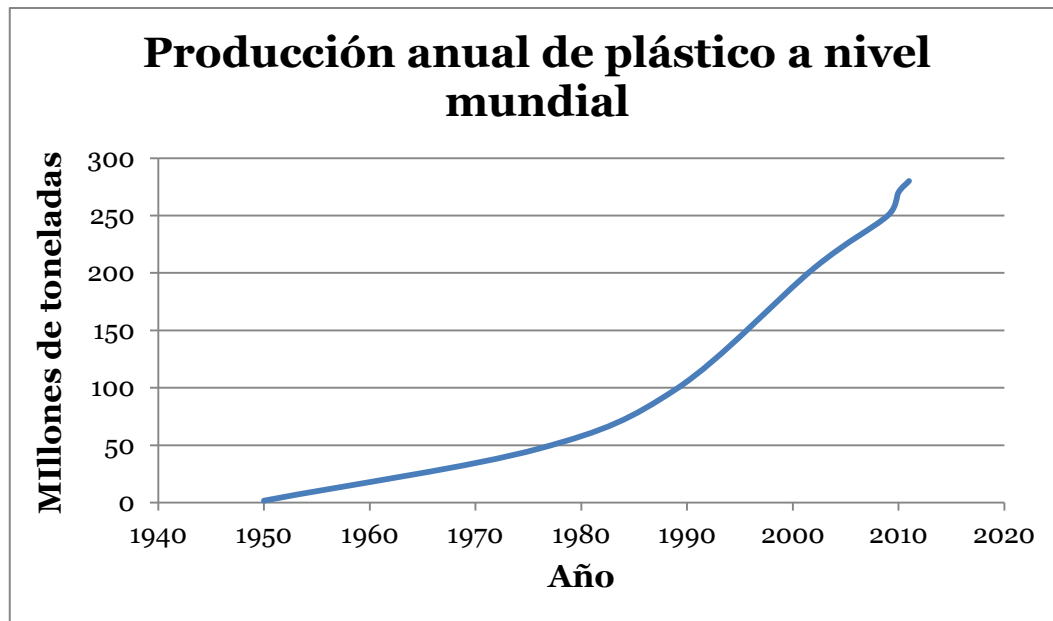
Tabla 2: Tipos de plásticos más comunes y sus principales usos.

Nombre	Sigla	Código reciclaje	Principales usos	Tipo de ordenamiento
Tereftalato de polietileno	PET	1	Botellas de bebidas y bandejas para microondas.	Cristalino
Polietileno de alta densidad	HDPE	2	Botellas para leche y líquidos de limpieza.	Semicristalino
Cloruro de polivinilo	PVC	3	Bandejas de comida, films transparentes, botellas para agua mineral y productos capilares.	Amorfo
Polietileno de baja densidad	LDPE	4	Bolsas de plástico y basura.	Semicristalino
Polipropileno	PP	5	Envases de alimentos, bandejas para microondas, muebles de terraza, contenedores y cajas.	Cristalino
Poliestireno	PS	6	Envases de yogur, bandejas para carnes y pescados, envases de huevos, cubiertas, vasos, protectores de equipos electrónicos y juguetes.	Amorfo
Otros	-	7	-	

### 1.2. Antecedentes de consumo a nivel mundial:

En la actualidad, el consumo de plásticos se ha masificado tanto, que prácticamente es imposible imaginar la vida moderna sin ellos. Ya sean de uso común (también denominados *commodities*, caracterizados por su bajo costo y fácil procesamiento) o para aplicaciones altamente específicas, se han vuelto un material prácticamente indispensable en la vida de los seres humanos [4].

Desde la década de 1950, la producción de plásticos ha experimentado un crecimiento sostenido, promediando un 9% anual. En la actualidad, alcanza las 280 millones de toneladas al año, tal como puede apreciarse en la Figura 2:



**Figura 2: Producción anual de plástico a nivel mundial [3].**

De acuerdo a un estudio realizado por la Asociación de Productores de Plásticos Europea, PlasticEurope, los principales usos de este material están ligados a la industria de los envases (39,4%) y de la construcción (20,5%) [3].

En particular, los polímeros más empleados son polipropileno (PP) y polietileno (PE), lo que se debe principalmente a su gran versatilidad, y a la alta eficiencia de sus procesos de producción, gracias al uso de catalizadores y equipos especialmente diseñados. Otros polímeros de uso común son el polietileno de tereftalato (PET), el policloruro de vinilo (PVC) y el poliestireno (PS). En conjunto, comprenden más del 80% del consumo total de este material [4].

### **1.3. Los plásticos y el medio ambiente:**

#### **1.3.1. Degradación ambiental:**

La degradación de los plásticos está dada por reacciones químicas que separan sus cadenas en monómeros. De esta forma, un polímero se considera “degradable” cuando presenta en su estructura ciertos ligandos susceptibles a la acción de agentes ambientales que pueden degradarlo [4].

En particular, los plásticos son biodegradables cuando son susceptibles a sufrir degradación producto de la acción de agentes biológicos. Para ello, deben tener una cadena lineal, sin ramificaciones, o presentar grupos éter, amida o acetal, los que pueden ser hidrolizados enzimáticamente por entes microbianos [4].

La mayoría de los plásticos presentan una degradación lenta y difícil; además, el 20% de los principales plásticos consumidos son desechados en menos de 1 año, por lo que se han ido acumulando progresivamente en suelos, ríos, lagos y océanos [4].

### **1.3.2. En el mundo:**

Los plásticos equivalen aproximadamente a una quinta parte de los residuos urbanos. Solo en Estados Unidos, la tasa de desecho anual de plásticos alcanza 18,5 millones de toneladas, mientras que en el Reino Unido esta cifra es superior a 3 millones. Si se considera que la mayoría de los plásticos descartados se caracterizan por presentar una lenta degradación, su desecho significa un grave problema medioambiental [5].

Uno de los ejemplos más concretos es la alteración de la flora y fauna marina debido a la presencia de este material en su hábitat. De acuerdo a un informe presentado por Greenpeace en el año 2006, al menos 267 especies se han visto afectadas por la presencia de desechos en el océano, los cuales están conformados entre un 60% y un 80% por plásticos. Estos suelen encontrarse tanto a nivel del mar como en el fondo acuático, y animales y aves marinas suelen verse atrapados entre sus restos, o bien, ingerirlos accidentalmente [7].

Se estima que en la actualidad hay un promedio de 13.000 piezas de plástico por cada kilómetro cuadrado de océano. La mayor concentración se encuentra en las denominadas “Islas de plástico”, conformadas por 2 cúmulos de basura ubicados en el océano Pacífico, cuya extensión total equivale al doble de la superficie de Estados Unidos [8].

### **1.3.3. En Chile:**

La generación de residuos a nivel nacional ha presentado un incremento de un 42% entre los años 2000 y 2009, elevándose de 11,9 a 16,9 millones de toneladas anuales. Si bien se debe en parte al aumento poblacional y al crecimiento en la actividad industrial [9], la generación de residuos sólidos municipales (RSM) per cápita también ha aumentado, de acuerdo a lo que se aprecia en la Figura 3:

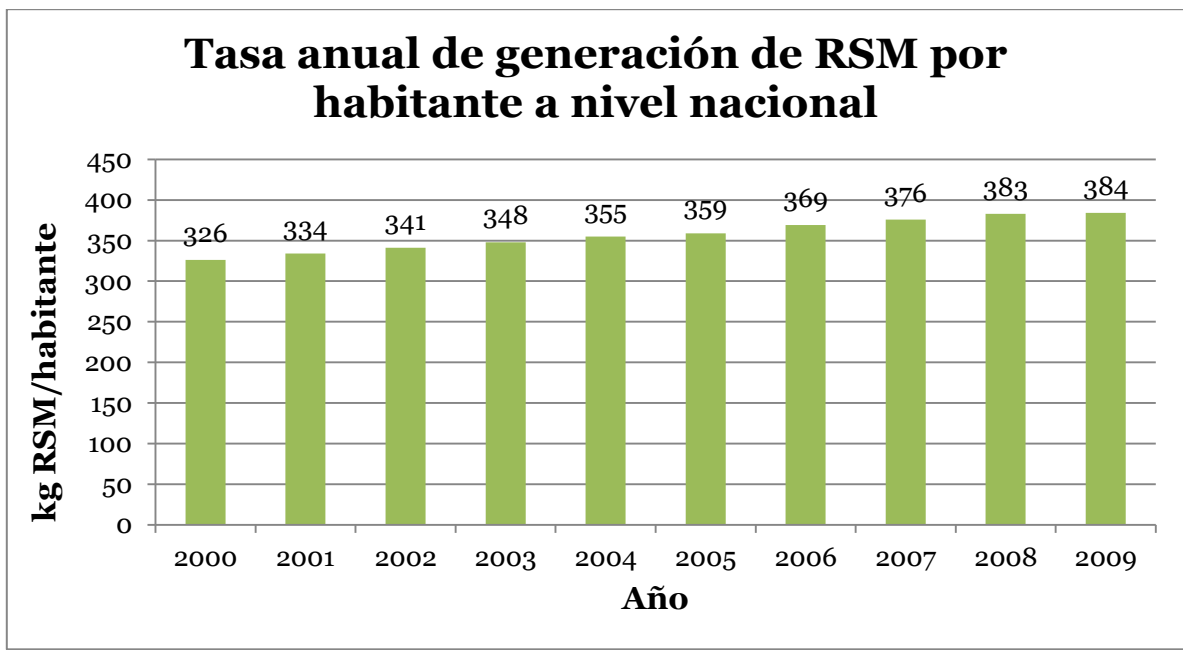


Figura 3: Tasa anual de generación de RSM por habitante [9].

Por su parte, el consumo de plásticos per cápita también ha presentado un aumento progresivo en los últimos años. En la Figura 4 se observa este incremento entre los años 2008 y 2012 [10]:

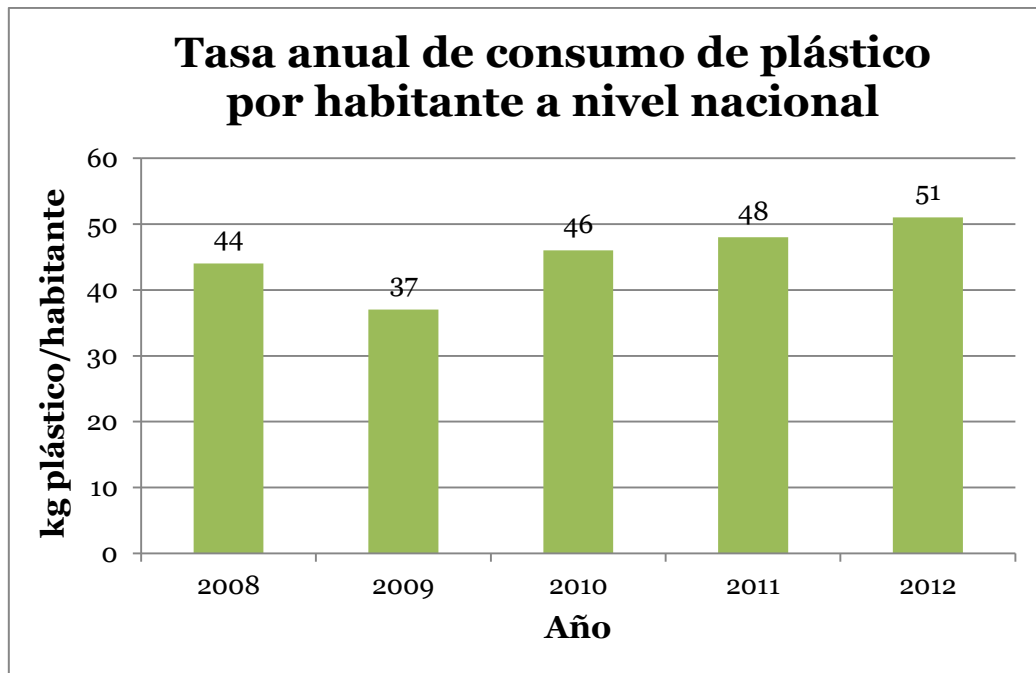


Figura 4: Tasa anual de consumo de plástico por habitante [10].

Actualmente, los desechos plásticos equivalen aproximadamente al 11% de los residuos sólidos y alcanzan las 250.000 toneladas anuales, de las cuales sólo se recicla un 5,8% [11].

#### **1.3.4. En Osorno:**

A 6 km de la ciudad de Osorno se ubica el Vertedero de Curaco, el cual recibe los residuos domiciliarios de las comunas de San Pablo, Puyehue, Purranque, San Juan de la Costa y la ya mencionada Osorno [12].

Desde hace algunos años el flujo de residuos generado en esa zona sobrepasa la capacidad del vertedero, lo que ha llevado a un incumplimiento en las normas sanitarias y de operación. De acuerdo a un informe presentado al Servicio de Evaluación Ambiental en el año 2009 por la empresa Ingeniería Alemana S.A. en representación de la Ilustre Municipalidad de Osorno, *“La situación actual del vertedero de Curaco constituye un riesgo para las comunidades vecinas, toda vez que está generando daños en la calidad de las aguas superficiales debido al escurrimiento de lixiviados al estero (...)”* [12].

No obstante, aunque se han realizado estudios y gestiones, y pese a que la Municipalidad se ha comprometido a cerrar el vertedero en múltiples ocasiones, este se mantiene aún en operación, debido a la falta de un relleno sanitario en el sector [13].

La situación anterior evidencia la necesidad de plantear propuestas para aminorar las consecuencias del problema señalado. Sin embargo, se debe enfatizar que, si bien la apertura de un relleno sanitario acorde a los requerimientos actuales permite enfrentar el problema inmediato, no se está abordando la verdadera causa: el exceso de desechos generados en la zona.

#### **1.3.5. Composición de los residuos plásticos:**

En Estados Unidos los residuos plásticos presentan la siguiente composición:

**Tabla 3: Composición del flujo anual de plásticos desechados en Estados Unidos [5].**

<b>Tipo de plástico</b>	<b>Porcentaje másico [%]</b>
PE	49,3
PP	13,9
PET	9,2
PS	10,7
Otros	16,9

Tal como se puede apreciar en la Tabla 3, los plásticos más desechados son el polietileno, el polipropileno y el polietileno de tereftalato. Esta tendencia se repite a nivel mundial [5], y se debe a que estos materiales se emplean principalmente para fabricar envases descartables de alimentos y otras sustancias [4].

## **1.4. Recuperación de plásticos:**

Una vez que han cumplido su función, el ciclo de vida de los plásticos contempla 3 alternativas [2]:

- Recuperación.
- Incineración.
- Depósito en un vertedero o relleno sanitario.

En Estados Unidos se recupera el 12% de los plásticos, mientras que el 8% es incinerado y el 80% restante es depositado en un vertedero o relleno sanitario [5].

La recuperación puede llevarse a cabo de acuerdo a 3 alternativas principales: reutilización, reciclado y recuperación energética [2]. Estas se detallan a continuación.

### **1.4.1. Reutilización [5]:**

Está dada por el aprovechamiento de los plásticos, dándoles un uso similar o diferente al que tenían originalmente. Esta alternativa es preferible a la del reciclado, debido a que se consumen menos energía y recursos.

### **1.4.2. Reciclado [14]:**

Consiste en el proceso de recuperación y tratamiento de residuos, para transformarlos en productos útiles, cuyo uso puede ser similar o diferente al inicial.

Dependiendo del nivel de transformación de la materia prima, el reciclaje se puede clasificar en 3 categorías:

- Reciclado primario: El material se emplea para elaborar productos con aplicaciones similares a las que tenía originalmente. Generalmente se usan desechos industriales, o productos que fueron descartados por no satisfacer los requisitos para cumplir con su función.
- Reciclado secundario: El plástico recuperado se utiliza para fabricar productos que tienen requisitos de rendimiento menos exigentes que la aplicación original.
- Reciclado terciario: El material se usa como materia prima para obtener combustibles y productos químicos.

Tanto el reciclado primario como el secundario se llevan a cabo en procesos mecánicos, mientras que el reciclado terciario involucra un proceso químico.

### **1.4.3. Recuperación energética:**

Este proceso, también conocido como “reciclado cuaternario”, consiste en la combustión de los plásticos para emplearlos como fuente de energía. A modo de ejemplo, un envase

de yogur de 0,3 litros contiene la energía necesaria para mantener una ampolleta encendida durante 1 hora [2].

En la Tabla 4 se aprecian los poderes caloríficos de los principales plásticos presentes en los residuos domiciliarios:

**Tabla 4: Poder calorífico de algunos plásticos de desecho domiciliario [15].**

<b>Tipo de plástico</b>	<b>Poder calorífico [MJ/kg]</b>
PE	43
PP	44
PS	40
PVC	20

Al compararlos con otros combustibles, se observa que poseen calores específicos superiores o similares, de acuerdo a lo indicado en la Tabla 5:

**Tabla 5: Poder calorífico de diferentes materiales [2].**

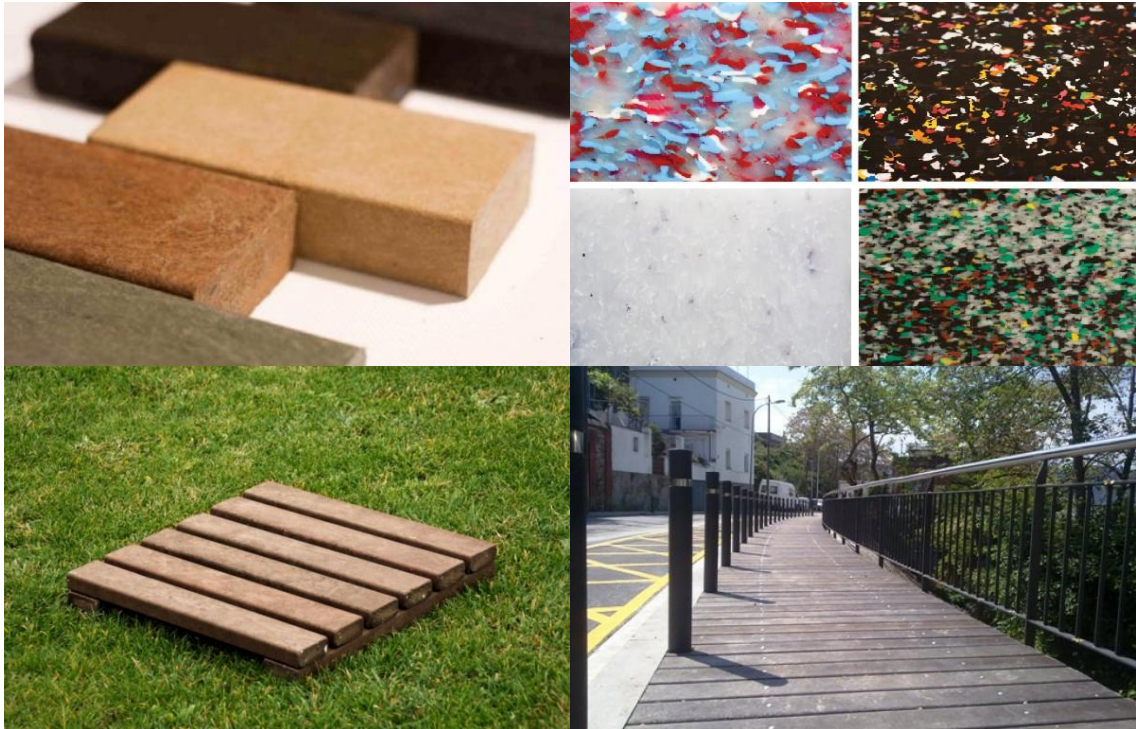
<b>Material</b>	<b>Poder calorífico [MJ/kg]</b>
Carbón	29
Gas Natural	28
Gasolina	44
Papel	17

No obstante, es importante considerar que, si bien los plásticos son una buena fuente de energía, su combustión genera residuos sólidos y gaseosos con una alta toxicidad, por lo que se debe ejercer un riguroso control medioambiental en caso de optar por esta alternativa [16].

## **1.5. Materiales de construcción plásticos:**

En los últimos años se han diseñado una serie de materiales a partir de desechos sólidos, los que son empleados para fabricar muebles, accesorios y prendas de vestir, entre otros. En el rubro de la construcción, destacan algunas empresas que han propuesto múltiples alternativas que emplean materiales desechados como plástico, vidrio, papel o textiles.

Un ejemplo es la empresa española Zicla, fundada en el año 2004, quienes emplean plástico para fabricar perfiles de construcción, tableros similares a azulejos de cocina y baño, pasarelas urbanas y baldosas, entre otros [17]. Los productos señalados se aprecian en la Figura 5:



**Figura 5: Algunos de los productos ofrecidos por Zicla. Arriba a la izquierda: Perfiles de poliestireno y polipropileno. Arriba a la derecha: Tableros de polietileno. Abajo a la izquierda: baldosa de poliestireno y polipropileno. Abajo a la derecha: Pasarela de poliestireno y polipropileno [17].**

Otra empresa dedicada al rubro de la construcción con materiales reciclados es la firma colombiana Ingepol Outdoor, la cual posee una amplia gama de productos. Entre ellos destaca la Ecovivienda, fabricada principalmente con paneles de polipropileno reciclado. Además, ofrecen variadas alternativas de mobiliario urbano, entre las que se cuentan bancas, mesas, maceteros, basureros y pasarelas [18]. Algunas de estas se observan en la Figura 6:





**Figura 6: Oferta de productos de Ingepol Outdoor. Todos están fabricados principalmente con polipropileno. Arriba a la izquierda: Mesa y silla de exterior. Arriba a la derecha: Sendero ecológico. Abajo a la izquierda: Ecovivienda. Abajo a la derecha: Juego infantil [18].**

## **1.6. Materiales aislantes:**

Los aislantes térmicos se definen como aquellos materiales que ejercen resistencia al paso de calor, la que depende de una propiedad denominada *conductividad térmica*. De esta forma, serán aislantes aquellos materiales que presenten una baja conductividad térmica [19].

Los materiales aislantes empleados con mayor frecuencia se pueden apreciar en la Tabla 6 [19]:

**Tabla 6: Materiales aislantes, densidad aparente y conductividad térmica a 20 [°C].**

Material	Densidad aparente [kg/m <sup>3</sup> ]	Conductividad térmica [W/(m · K)]	Material	Densidad aparente [kg/m <sup>3</sup> ]	Conductividad térmica [W/(m · K)]
Lana mineral, colchoneta libre	40	0,042	Perlita expandida	90	0,050
	50	0,041	Plancha de corcho	100	0,040
	70	0,038		200	0,047
	90	0,037		300	0,058
	110	0,040		400	0,066
	120	0,042		500	0,074
Lana mineral granulada	20	0,069	Poliestireno expandido	10	0,043
	30	0,060		15	0,041
	40	0,055		20	0,038
	60	0,048		30	0,036
	80	0,044	Poliuretano expandido	25	0,027
	100	0,041		30	0,026
	120	0,042		40	0,025
	140	0,042		45	0,025
Lana de vidrio	10	0,044		60	0,025
	11	0,424		70	0,027
	12	0,041		Vermiculita en partículas	99
	13,1	0,4	Vermiculita expandida	100	0,070

Los materiales de alta densidad suelen ser más conductores que los de baja densidad, a excepción de aquellos que contienen aire en su estructura, como el poliestireno expandido y el poliuretano expandido. Esto se debe a que el aire en reposo es un excelente aislante, presentando una conductividad térmica de 0,024 [W/(m · K)] a 0 [°C].

## 1.7. Objetivos

El proyecto a desarrollar se llevará a cabo en el marco de los objetivos señalados a continuación.

### 1.7.1. Objetivo principal:

Diseñar y evaluar una planta de fabricación de paneles aislantes térmicos, empleando plástico de desecho como principal materia prima.

### **1.7.2. Objetivos específicos:**

- Definir criterios de selección de la materia prima y el proceso a utilizar.
- Elaborar paneles a escala de laboratorio.
- Caracterizar los paneles fabricados.
- Desarrollar la ingeniería conceptual de una planta productora de paneles.
- Evaluar económicamente el proyecto.

# Capítulo 2

## 2. Alternativa propuesta

La propuesta presentada contempla el análisis de los siguientes aspectos: definición de materias primas, caracterización del panel y selección del proceso a emplear.

### 2.1. Materia prima

Actualmente, los paneles plásticos con propiedades de aislación térmica ofrecidos en el mercado están, en su mayoría, fabricados con poliestireno, poliuretano o poliéster [20]; no obstante, también se emplean materiales como polipropileno, polietileno tereftalato o polietileno [20].

Los plásticos escogidos como materia prima, deben cumplir 2 condiciones: aportar en la disminución del flujo de desechos trasladados al vertedero de Curaco y proveer de aislación térmica a las casas de la zona. Sin embargo, ambos requerimientos podrían contraponerse, pues para fabricar un panel con excelentes propiedades aislantes se requiere un material con características muy específicas, que la mayoría de los plásticos de desecho no cumplen, lo que significaría el desaprovechamiento de mucho material; mientras que al emplear muchos plásticos distintos, se disminuyen los residuos que llegan al vertedero, pero se trabaja con materiales que poseen conductividades térmicas dispares, lo que no garantiza que el producto tenga una conductividad térmica adecuada.

Finalmente, dada la principal motivación del proyecto, se propone emplear todo tipo de plásticos desechados.

### 2.2. Características del panel

Se establecieron 3 criterios principales para definir las características que poseerá el panel: conductividad térmica, disponibilidad de la materia prima y facilidad de procesamiento.

#### 2.2.1. Conductividad térmica:

Esta debe ser similar o inferior a la conductividad térmica de los materiales que actualmente se emplean, mencionados en el Capítulo 1, sección 1.6.

### **2.2.2. Disponibilidad de la materia prima:**

La materia prima será provista por Jaime Pinninghoff, un empresario de la zona dedicado a la recolección y reutilización de desechos provenientes de empresas de la provincia y de los domicilios de la ciudad de Osorno.

Dadas las condiciones actuales de recepción y manejo de materia prima, no es factible realizar una clasificación exhaustiva de esta. Además, se debe prever que la composición del flujo de plásticos acopiados podría experimentar variaciones entre un período y otro, por lo tanto, se requiere que el panel admita mezclas de plásticos, y que estas además puedan variar en el tiempo.

### **2.2.3. Facilidad de procesamiento:**

Se privilegiará el diseño de un panel por sobre otro favoreciendo la facilidad con que pueda elaborarse. Lo anterior apunta a disminuir las posibles fallas del proceso, así como también sus costos asociados.

## **2.3. Proceso**

Se empleará un proceso de reciclado, pues es el único que posee las características para cumplir con los objetivos del proyecto. Tal como se señaló en el Capítulo 1, sección 1.4, este puede ser químico o mecánico. Ambos se describen a continuación:

### **2.3.1. Reciclaje mecánico:**

Consiste en tratar los residuos plásticos por medio de la aplicación de presión y calor. El proceso tradicional involucra las siguientes etapas [2], [15]:

- Recolección: Se recogen plásticos desechados provenientes de domicilios y/o industrias.
- Clasificación: El material es separado de acuerdo a composición y color. Suele ser una de las etapas más costosas, en caso que no se cuente con una adecuada gestión de los residuos a reciclar.
- Eliminación de contaminantes: El material se lava y posteriormente se separan sustancias no deseadas, como papeles, metales, etiquetas, etc.
- Molienda: El material es triturado con el objetivo de disminuir su tamaño; el diámetro de partícula deseado depende de los equipos y el tipo de proceso que se llevará a cabo posteriormente.
- Lavado y separación de contaminantes: El material se lava nuevamente y se retiran materiales que no hayan sido removidos en la separación anterior.

- Secado: Se elimina la humedad contenida en el material producto de la limpieza realizada en la etapa anterior.
- Almacenamiento y homogenización: El material es depositado en silos homogeneizadores.
- Extrusión: Se añaden aditivos y posteriormente la mezcla es fundida, para luego ser circulada a través de un molde que le da forma de filamentos. Posteriormente, el material es enfriado y cortado en forma de pellets.

Los pellets obtenidos pueden ser empleados para la fabricación de diversos objetos, como bolsas, contenedores, mobiliario y señalización urbana [2].

### **2.3.2. Reciclaje químico:**

También denominado “reciclado terciario”, consiste en descomponer el material plástico mediante una o más reacciones químicas, dando lugar a componentes más sencillos, entre ellos, los mismos monómeros que componen las cadenas [2].

Este proceso puede ser aplicado a cualquier tipo de plástico, sea termoplástico o termoestable, y puede realizarse a mezclas, por lo que no se requiere efectuar una clasificación [2].

Puede ser llevado a cabo mediante diferentes procesos, entre ellos la pirólisis (térmica y catalítica), hidrogenación y gasificación [2].

### **2.3.3. Ventajas y desventajas:**

#### **2.3.3.1. Reciclaje mecánico:**

Los plásticos poseen propiedades que facilitan este tipo de reciclaje, pues son lavables, esterilizables y resistentes [2]. No obstante, se deben considerar algunos factores que lo desfavorecen, entre los que se puede mencionar [16]:

- Su baja densidad eleva el costo de transporte, pues ocupan un gran volumen.
- En algunos casos el plástico no puede ser empleado para el mismo uso que tenía antes de ser reciclado, pues pierde parte de sus propiedades. Un ejemplo de ellos son los envases de alimentos.
- No admite el reciclaje de materiales termoestables [2].

Además, se requiere tratar por separado los distintos tipos de plásticos. Esto se debe a los siguientes motivos [15]:

- Los plásticos presentan puntos de fusión muy disímiles entre sí, por lo que cada uno de ellos requiere que en la etapa de extrusión se opere a una determinada temperatura. En caso de procesar plásticos distintos simultáneamente, se debe operar a la mayor temperatura de fusión, lo que podría causar la degradación de algunos de ellos.

- Los materiales obtenidos a partir de mezclas de plásticos presentan peores propiedades mecánicas.

### 2.3.3.2. Reciclaje químico [15]:

Su principal ventaja es que no se requiere separar los plásticos previamente, lo que simplifica la logística de recolección.

Entre sus desventajas, cabe señalar que una planta de procesamiento químico requiere una inversión aproximadamente 4 veces mayor que una planta de procesamiento mecánico. Asimismo, sus costos operativos son mayores, pues se requiere de más energía.

## 2.4. Alternativa escogida:

A continuación se resume las principales ventajas y desventajas de cada proceso en la Tabla 7:

**Tabla 7: Ventajas y desventajas del reciclado mecánico y químico [2].**

Reciclado	Ventajas	Inconvenientes
Mecánico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proceso e instalaciones sencillas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necesidad de separación.</li> <li>• Solo se puede aplicar a plásticos termoplásticos.</li> <li>• El material resultante es de menor calidad.</li> <li>• Poca demanda en el mercado.</li> </ul>
Químico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No es necesaria la separación de los distintos plásticos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Altas necesidades energéticas.</li> <li>• Se pueden formar dioxinas y furanos.</li> <li>• Abanico de productos demasiado amplio.</li> <li>• Mayor costo de inversión.</li> <li>• Menor acceso a tecnología.</li> </ul>

Considerando las ventajas y desventajas señaladas, se escogió fabricar los paneles empleando un proceso mecánico. Para evitar los problemas asociados a la clasificación, debido a que Jaime Pinninghoff recibe los plásticos sin separar, se optó por prescindir de la etapa de extrusión, y en cambio se propone añadir una nueva, consistente en el prensado y aglomerado del material mediante la aplicación de presión y calor. Asimismo, se resolvió eliminar las etapas de lavado y secado, para minimizar el consumo de recursos hídricos y energéticos.

## 2.5. Proceso propuesto:

### 2.5.1. Etapas:

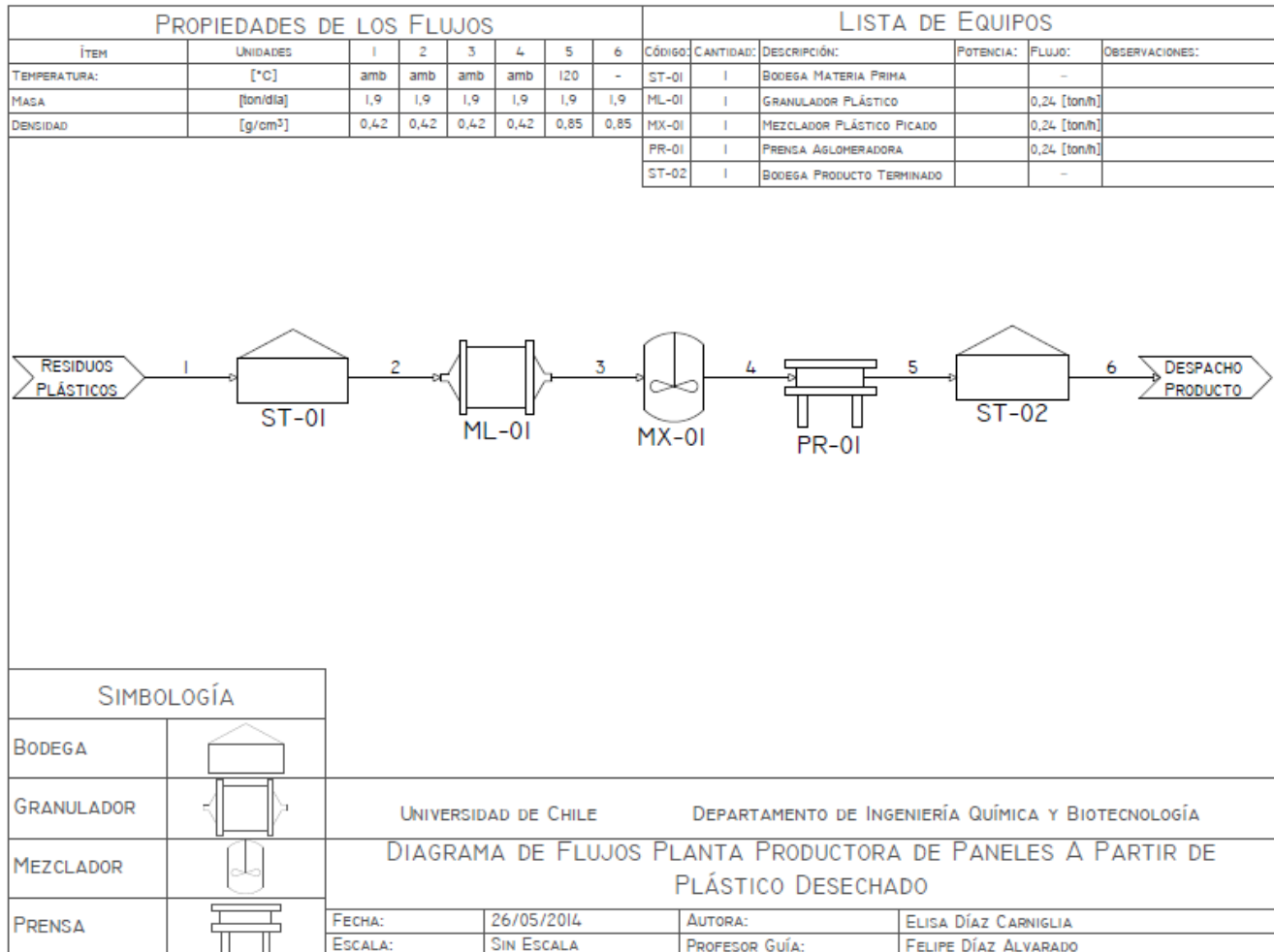
El proceso consta de las siguientes etapas:

- 1- Recolección: Se recogen plásticos desechados provenientes principalmente de industrias como Colún o Nestlé, y en menor medida, de domicilios.
- 2- Conminución: Los plásticos son sometidos a un proceso de disminución de tamaño, para facilitar su homogenización y la etapa de prensado. Se obtienen gránulos con un diámetro que varía entre 1,5 y 2 [cm] aproximadamente.
- 3- Homogenización: Los gránulos obtenidos en la etapa anterior son mezclados entre sí, con el objetivo de obtener paneles de similar composición y características.
- 4- Prensado: El material es prensado a una temperatura tal que permita su aglomeración.



## 2.5.2. Diagrama de flujos:

A continuación se presenta un diagrama de flujos del proceso propuesto:



**Figura 7: Diagrama de flujos del proceso productivo propuesto.**

# Capítulo 3

## 3. Procedimiento experimental

### 3.1. Elaboración de paneles:

Con el fin de determinar la factibilidad de aglomerar una mezcla de plásticos que no ha sido clasificada ni sometida a ningún proceso de lavado o de descontaminación de impurezas, se optó por realizar pruebas experimentales, en las cuales se fabricaron prototipos de panel a escala de laboratorio.

Se efectuó un total de 4 experiencias. En todas se siguió la misma metodología y se emplearon los equipos y materiales que se detallan a continuación:

- Materiales y equipos:
  - Prensa hidráulica HP de 8 toneladas.
  - Molde de acero de 0,4 x 12 x 12 [cm<sup>3</sup>] (empleado solo en la Experiencia 1).
  - Molde de acero de 0,4 x 8 x 4,5 [cm<sup>3</sup>] (empleado las Experiencias 2, 3, 4 y 5).
  - Placas de acero de 25 x 25 [cm<sup>2</sup>].
  - Papel antiadherente.
  - Balanza.
  - Cronómetro.
  - Lentes de seguridad.
  - Delantal de manga larga.
  - Guantes aislantes térmicos.

En la Figura 8 se aprecia la prensa empleada:



Figura 8: Prensa de laboratorio empleada en la elaboración de los paneles de plástico.

▪ Metodología:

- Fijar la temperatura deseada en la prensa.
- Masar la muestra de plástico que se desea aglomerar. Esta fue escogida dependiendo del área del molde y del volumen del material utilizado en cada prueba.
- Ubicar una lámina de papel antiadherente entre una de las placas de acero y el molde.
- Disponer el plástico sobre el molde.
- Cubrir el plástico y el molde con otra lámina de papel antiadherente y con la placa de acero restante.
- Introducir las placas con el molde en la prensa.
- Contactar las placas con las caras de la prensa, sin ejercer presión, durante 3 minutos.
- Presionar las placas durante 3 minutos, a excepción de uno de los paneles elaborados en la Experiencia 5, que se compactó durante 15 minutos.
- Abrir la llave de agua de la prensa para enfriar el equipo y las placas.
- Cerrar la llave de agua cuando se haya alcanzado una temperatura de 70 [°C].
- Sacar las placas.

Los plásticos utilizados, objetivos, pruebas, resultados, observaciones y conclusiones de cada experiencia fueron los siguientes:

### **3.1.1. Experiencia 1:**

#### **3.1.1.1. Plásticos empleados:**

- Vasos de PS trozados.
- Vasos de PP trozados.
- Pellets de PVC.
- Pellets de PP.

#### **3.1.1.2. Objetivos:**

- Aprender a utilizar la prensa del laboratorio.
- Encontrar temperaturas adecuadas para armar paneles de PP, PS y PVC.

#### **3.1.1.3. Pruebas y resultados:**

- 1- 56 [g] de pellets de PP a 80 [°C]: No hay aglomeración.
- 2- 56 [g] de pellets de PP a 100 [°C]: No hay aglomeración.
- 3- 60 [g] de pellets de PP a 120 [°C]: No hay aglomeración.
- 4- 60 [g] de pellets de PP a 140 [°C]: Hay aglomeración.
- 5- 14,5 [g] de PS y 45,5 [g] de pellets de PP a 140 [°C]: Hay aglomeración.
- 6- 20 [g] de PS, 20 [g] de vasos de PP y 20 [g] de PVC a 80 [°C]: No hay aglomeración.

#### **3.1.1.4. Observaciones y discusiones:**

- El panel 4 resultó ser muy frágil, y se rompió horas más tarde.
- El panel 5 resultó firme, pues el PS se fundió, aglomerando todos los pellets de PP.
- 80 [°C] resultó ser una temperatura muy baja como para aglomerar el material empleado.

#### **3.1.1.5. Conclusiones:**

- No se encontró una temperatura apropiada para aglomerar PP, lo que se asocia a su estructura cristalina.
- Debido a que el PS fundió completamente a 140 [°C], se deben realizar pruebas a menor temperatura para determinar el límite al cual se produce aglomeración.
- En las próximas pruebas se emplearán temperaturas superiores a 80 [°C].

### **3.1.2. Experiencia 2:**

#### **3.1.2.1. Plásticos empleados:**

- Vasos de PS trozados.

- Bolsa de LDPE trozada.
- Vasos de PP trozados.
- Pellets de PVC.

#### **3.1.2.2. Objetivos:**

- Encontrar una temperatura apropiada para armar paneles compuestos por mezclas de plásticos.
- Determinar si es posible aglomerar una mezcla de todos los plásticos empleados.

#### **3.1.2.3. Pruebas y resultados:**

- 1- 10 [g] de mezcla de PP, PS y PVC a 100 [°C]: Hay aglomeración.
- 2- 20 [g] de PVC a 100 [°C]: Hay aglomeración.
- 3- 3 [g] de PP a 100 [°C]: No hay aglomeración.
- 4- 3 [g] de PP y 3 [g] de PVC a 100 [°C]: No hay aglomeración.
- 5- 3 [g] de PP y 3 [g] de PVC a 110 [°C]: No hay aglomeración.
- 6- 3 [g] de PP y 3 [g] de PVC a 120 [°C]: No hay aglomeración.
- 7- 8 [g] de PP, PVC, PS y LDPE a 120 [°C]: Hay aglomeración.
- 8- 8 [g] de PP, PVC, PS y LDPE a 100 [°C]: Hay aglomeración.

#### **3.1.2.4. Observaciones y discusiones:**

- El panel 2 presenta fisuras al centro, lo que aumenta su fragilidad.
- En las pruebas 5 y 6 se consiguió aglomerar algunas zonas con una alta concentración de PVC, pero el material se disgregó pronto.
- Para aglomerar mezclas que contengan una composición másica igual o superior a 50% de PP, se requiere una temperatura superior a 120 [°C].
- El panel 7 es mucho más firme que el 8, por lo que se estima que 120 [°C] es una temperatura más apropiada que 100 [°C].

#### **3.1.2.5. Conclusiones:**

- El PP se aglomera a temperaturas superiores a 120 [°C].
- La mezcla de plásticos aglomeró adecuadamente a 120 [°C], por lo que en las próximas pruebas se empleará esa como temperatura base.

### **3.1.3. Experiencia 3:**

#### **3.1.3.1. Plásticos empleados:**

- Mezcla de plásticos recolectados por Jaime Pinninghoff, trozados.

### **3.1.3.2. Objetivos:**

- Elaborar paneles empleando el plástico proveniente de la recolección de Jaime Pinninghoff.
- Encontrar una temperatura apropiada de trabajo.

### **3.1.3.3. Pruebas y resultados:**

- 1- 15 [g] de mezcla a 120 [°C]: Hay aglomeración.
- 2- 15 [g] de mezcla a 120 [°C]: Hay aglomeración.
- 3- 15 [g] de mezcla a 100 [°C]: Hay aglomeración.
- 4- 15 [g] de mezcla a 90 [°C]: Hay aglomeración.

### **3.1.3.4. Observaciones y discusiones:**

- A partir de todas las pruebas realizadas se obtuvieron paneles firmes; no obstante, la firmeza aumenta al incrementar la temperatura empleada para la aglomeración.

### **3.1.3.5. Conclusiones:**

- La mezcla aleatoria de plásticos se aglomera.
- 120 [°C] es una temperatura adecuada para trabajar con la mezcla.

## **3.1.4. Experiencia 4:**

### **3.1.4.1. Plásticos empleados:**

- Mezcla de plásticos recolectados por Jaime Pinninghoff, trozados, separada en 2 categorías: “dura” (no se puede cortar con tijeras) y “blanda” (sí se puede cortar con tijeras).

### **3.1.4.2. Objetivos:**

- Elaborar paneles con composiciones variadas.
- Establecer diferencias visuales y palpables entre los paneles, en función de su composición.

### **3.1.4.3. Pruebas y resultados:**

- 1- 3 [g] de mezcla blanda a 120 [°C]: Hay aglomeración.
- 2- 20 [g] de mezcla dura a 120 [°C]: Hay aglomeración.
- 3- 19 [g] de mezcla dura y 1 [g] de mezcla blanda a 100 [°C]: Hay aglomeración.
- 4- 6 [g] de mezcla blanda a 120 [°C]: Hay aglomeración.
- 5- 4 [g] de mezcla blanda y 4 [g] de mezcla dura a 120 [°C]: Hay aglomeración.

#### **3.1.4.4. Observaciones y discusiones:**

- Todos los paneles se aglomeraron, lo que indica que 120[°C] es una temperatura adecuada para trabajar con ambas mezclas, dura y blanda.
- La variación entre las masas de mezcla blanda y mezcla dura empleadas se debe a la diferencia de densidad entre ambas.
- Los paneles 1 y 4 presentan zonas con espacios en su interior, lo que disminuye su firmeza.

#### **3.1.4.5. Conclusiones:**

- 120 [°C] es una temperatura adecuada para elaborar paneles empleando una mezcla de plásticos aleatoria.
- Es posible elaborar paneles empleando solo mezcla dura o blanda; no obstante, presentan distintas características.
- Se recomienda fabricar paneles que contengan mezcla dura en al menos la mitad de su composición másica.

### **3.1.5. Experiencia 5:**

#### **3.1.5.1. Plásticos empleados:**

- Mezcla de plásticos recolectados por Jaime Pinninghoff, trozados.
- Vasos de PS trozados.

#### **3.1.5.2. Objetivos:**

- Observar la influencia del tiempo de prensado.
- Elaborar un panel a partir de vasos de PS.

#### **3.1.5.3. Pruebas y resultados:**

- 1- 15 [g] de mezcla a 120 [°C], compactada durante 15 minutos: Hay aglomeración
- 2- 9 [g] de PS a 120 [°C]: Hay aglomeración.

#### **3.1.5.4. Observaciones y discusiones:**

- El panel 1 se aglomeró más que los paneles compactados durante 3 minutos, lo que demuestra que el producto depende del tiempo de prensado.
- El panel 2 presenta zonas con espacios en su interior, lo que disminuye su firmeza. Esto se atribuye a una gran variación de densidad producto del aumento de temperatura.

#### **3.1.5.5. Conclusiones:**

- Se debe estudiar y cuantificar la influencia del tiempo de prensado en los paneles obtenidos, lo que queda propuesto para una etapa posterior del proyecto.

- La variación en la densidad de algunos plásticos producto de los cambios de temperatura puede implicar la obtención de paneles poco firmes, por lo que se propone estudiar sus efectos con mayor profundidad en una etapa posterior del proyecto.

En la Figura 9 se aprecian algunos de los paneles elaborados:

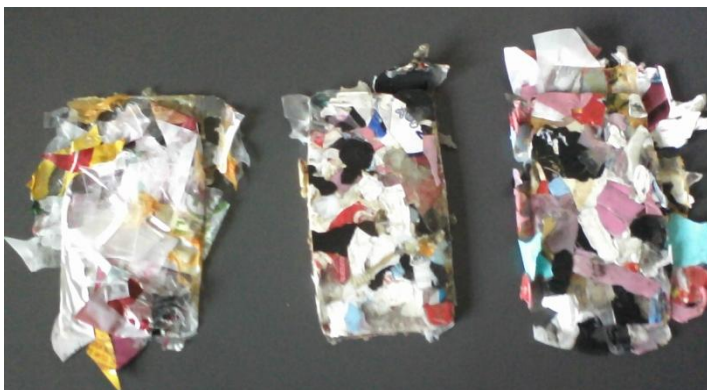


Figura 9: Paneles elaborados con plástico de desecho.

### 3.2. Medición de la conductividad térmica:

Para determinar si los paneles elaborados tienen propiedades aislantes, se diseñó un procedimiento experimental, con el objetivo principal de medir su conductividad térmica. Además, se definieron los siguientes objetivos específicos:

- Comparar la conductividad térmica entre paneles de diferente composición.
- Comparar la conductividad térmica entre los paneles elaborados y los materiales aislantes empleados actualmente.

Los materiales y equipos empleados, y la metodología llevada a cabo se detallan a continuación:

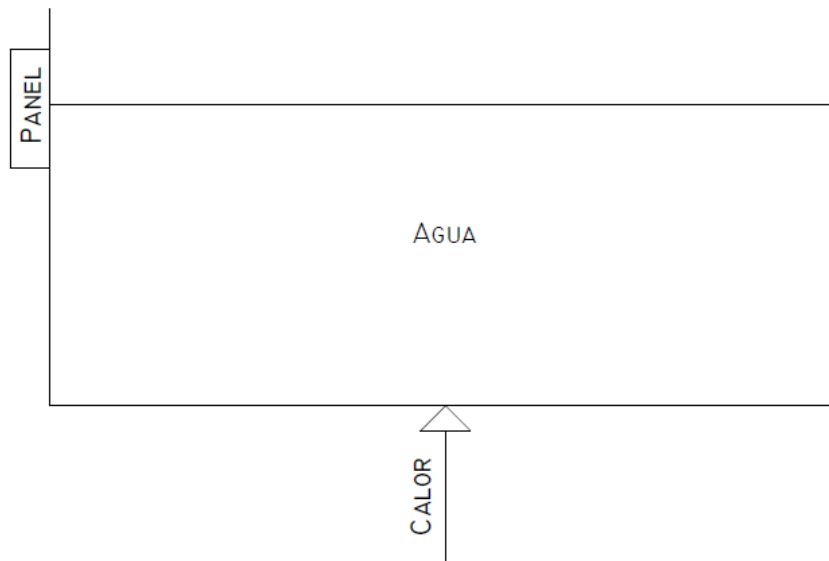
- Materiales y equipos:
  - Placa calefactora.
  - Recipiente rectangular de 6,5 x 30 x 21 [cm] con paredes planas.
  - Módulo de medición de temperatura, equipado con 1 sensor de temperatura PT100 y una termocupla tipo K.
  - Pinza.
  - Agua.
  - Paneles elaborados en el laboratorio, de 0,4 x 8 x 4,5 [cm<sup>3</sup>].
  - Panel comercial de PS expandido, de 1,6 x 8 x 5 [cm<sup>3</sup>].
  - Cronómetro.
  - Guantes aislantes térmicos.



▪ Metodología:

- Hervir el agua y vaciarla sobre el recipiente rectangular.
- Disponer el recipiente sobre la placa calefactora.
- Medir la temperatura en la pared externa del recipiente con la termocupla, procurando que esta se ubique en un punto bajo el nivel del agua.
- Con el sensor PT100, medir la temperatura inicial en una de las caras del panel.
- Con ayuda de la pinza, ubicar el panel en la cara externa del recipiente.
- Medir la temperatura de la cara externa del panel cada 20 segundos, durante aproximadamente 6 minutos, con el sensor PT100.

En la Figura 10 se aprecia un esquema del montaje experimental:



**Figura 10: Montaje experimental.**

Se decidió someter 7 paneles al experimento:

- 1- 15 [g] de mezcla aleatoria a 120 [°C] (panel 1).
- 2- 15 [g] de mezcla aleatoria a 120 [°C] (panel 2).
- 3- 15 [g] de mezcla aleatoria a 100 [°C] (panel 3).
- 4- 4 [g] mezcla blanda y 4 [g] mezcla dura a 120 [°C] (panel 4).
- 5- 1 [g] mezcla blanda y 19 [g] mezcla dura a 120 [°C] (panel 5).
- 6- 20 [g] de mezcla dura a 120 [°C] (panel 6).
- 7- 15 [g] de mezcla aleatoria a 120 [°C], prensada durante 15 minutos (panel 7).

Esta elección se basó en 4 criterios principales:

- Ser firmes al tacto, de forma tal que se asemejen a un panel comercial.

- Estar compuestos por la mezcla de plásticos proveniente de la recolección de Jaime Pinninghoff.
- Presentar diferentes composiciones entre sí.
- Haber sido sometidos a distintos tiempos de prensado.

Además, se realizó el experimento sobre un panel de poliestireno expandido comercial, uno de los principales aislantes empleados en la actualidad, para comparar los resultados obtenidos con algún valor conocido. Este fue denominado como “panel 8”.

Las mediciones se llevaron a cabo en 3 sesiones experimentales. Los paneles ensayados en cada una se aprecian en la Tabla 8:

**Tabla 8: Ensayos realizados en cada sesión.**

	Paneles ensayados
Ensayo 1	1, 2, 3, 4, 5 y 6
Ensayo 2	7, 8
Ensayo 3	1, 7, 8

Los datos experimentales se incluyen en el Anexo A.

### 3.2.1. Análisis de datos:

Se analizaron los datos obtenidos empleando la Carta de Heisler, la cual permite relacionar tiempo y variación de temperatura por medio de las siguientes magnitudes adimensionales:

- **Número de Biot (Bi):** Compara la magnitud de los coeficientes de transporte de calor en dos medios diferentes. Por lo general se define como:

$$Bi = \frac{h \cdot L}{k} \quad (\text{Ecuación 3.1})$$

Donde  $h$  es el coeficiente de transferencia de calor por convección de un fluido que está en contacto con la superficie del cuerpo,  $L$  es el largo característico del sólido y  $k$  es su conductividad térmica. No obstante, debido a que en este caso solo hay transferencia de calor por advección, el número de Biot se expresa como:

$$Bi = \frac{k_{\text{recipiente}}}{k_{\text{panel}}} \quad (\text{Ecuación 3.2})$$

Con  $k_{\text{recipiente}}$  equivalente a la conductividad térmica del recipiente empleado.

- **Número de Fourier (Fo):** Permite comparar la difusividad de calor por con las dimensiones de espacio y tiempo del cuerpo. Se define como:

$$Fo = \frac{k \cdot t}{\Omega_s \cdot c_p \cdot L^2} \quad (\text{Ecuación 3.3})$$

Donde  $k$  corresponde a la conductividad térmica del sólido,  $t$  es el tiempo transcurrido desde que se inició la transferencia de calor,  $\Omega_s$  es la densidad del sólido,  $c_p$  es el calor específico del sólido y  $L$  es su largo característico.

- Temperatura Adimensional ( $\phi$ ): Indica la variación de temperatura experimentada por una superficie debido a un cambio en la temperatura del medio.

$$\phi = \frac{T - T_\infty}{T_0 - T_\infty} \quad (\text{Ecuación 3.4})$$

Donde  $T$  y  $T_0$  son la temperatura del sólido en una posición determinada, en el tiempo  $t$  y 0, respectivamente, y  $T_\infty$  es la temperatura del fluido o sólido que está generando la perturbación.

En la carta de Heisler se grafican los valores de  $\phi$  versus el producto de Bi y Fo, empleando  $\frac{1}{Bi}$  como parámetro. Una carta de Heisler para placas planas se puede apreciar en la Figura 11:

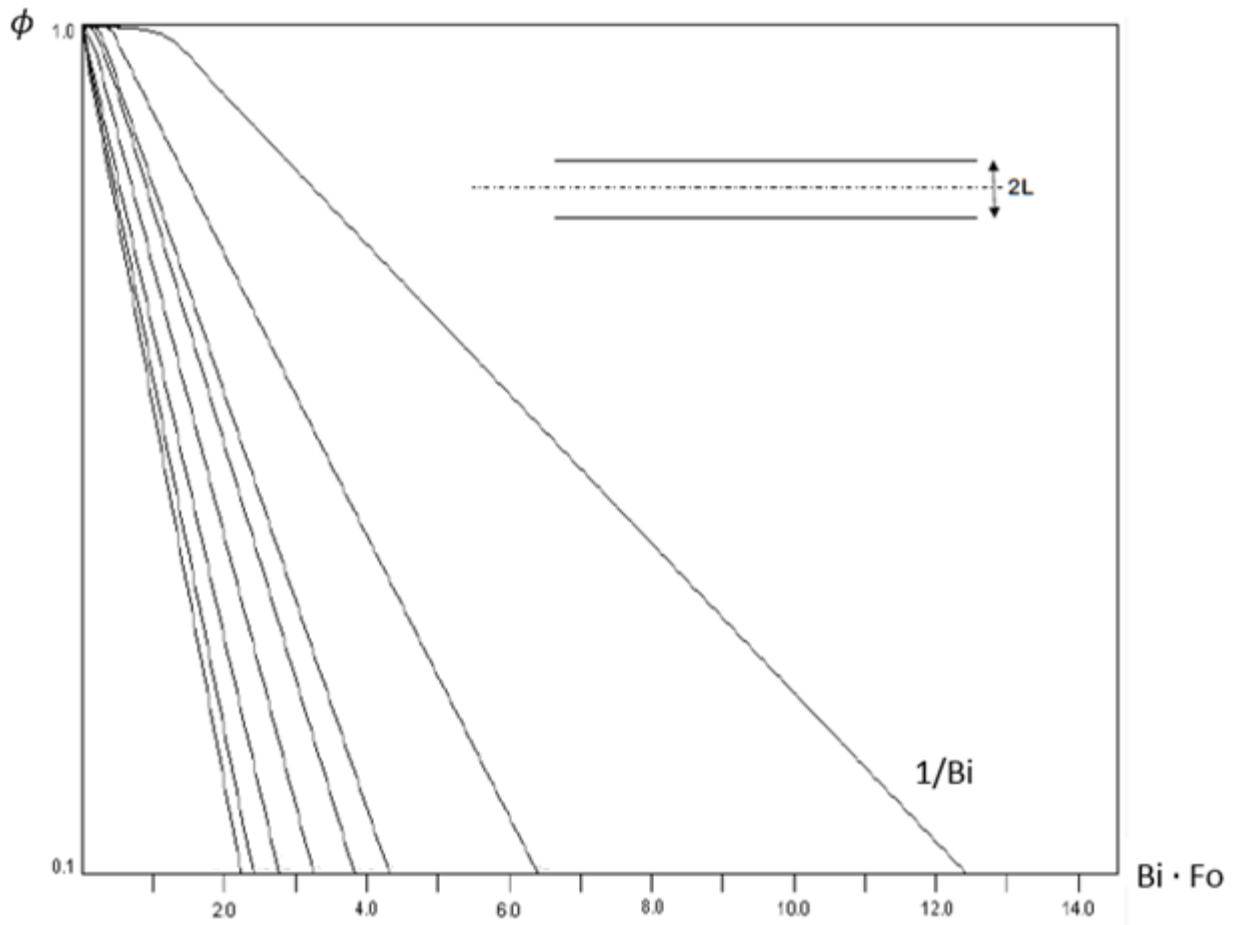
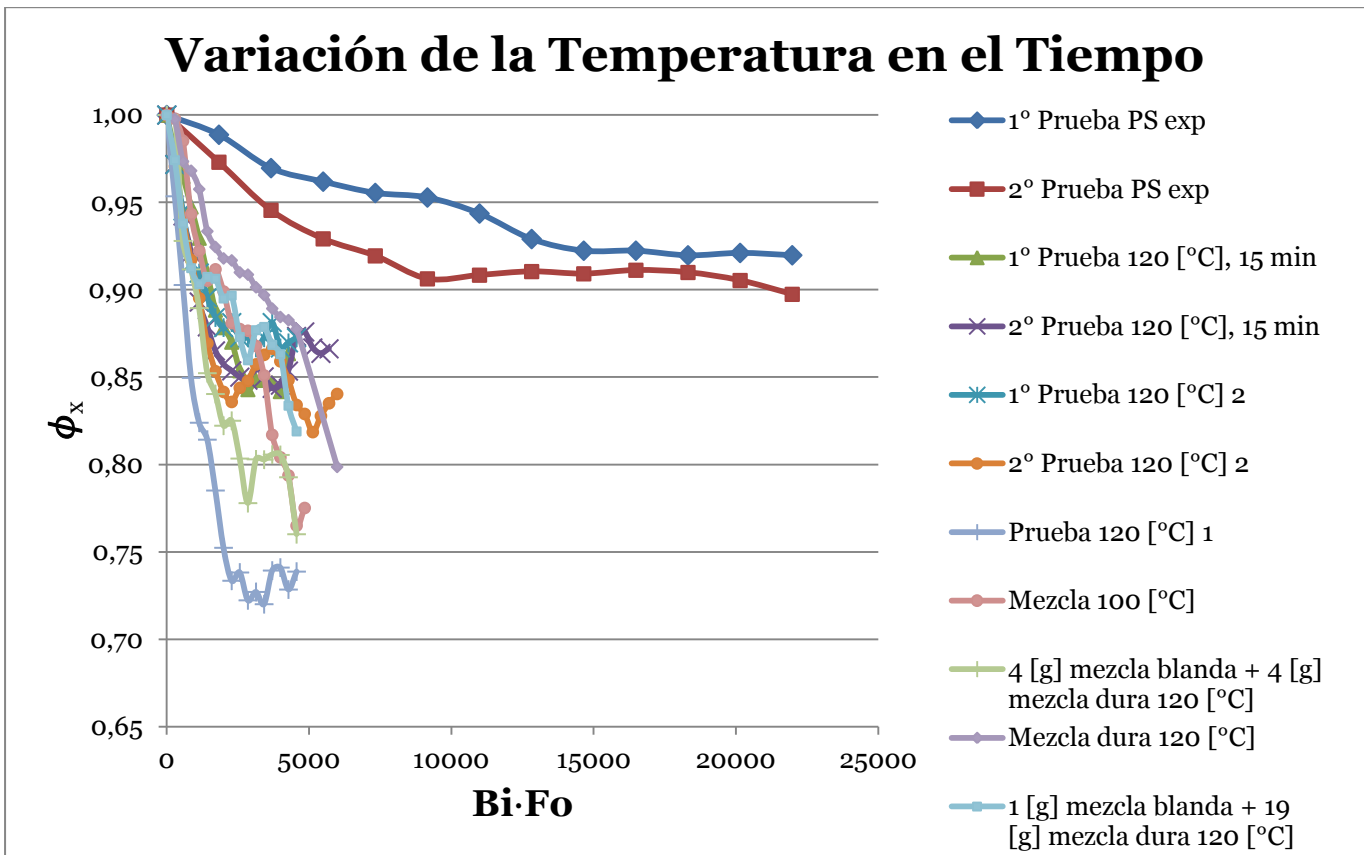


Figura 11: Carta de Heisler [21].

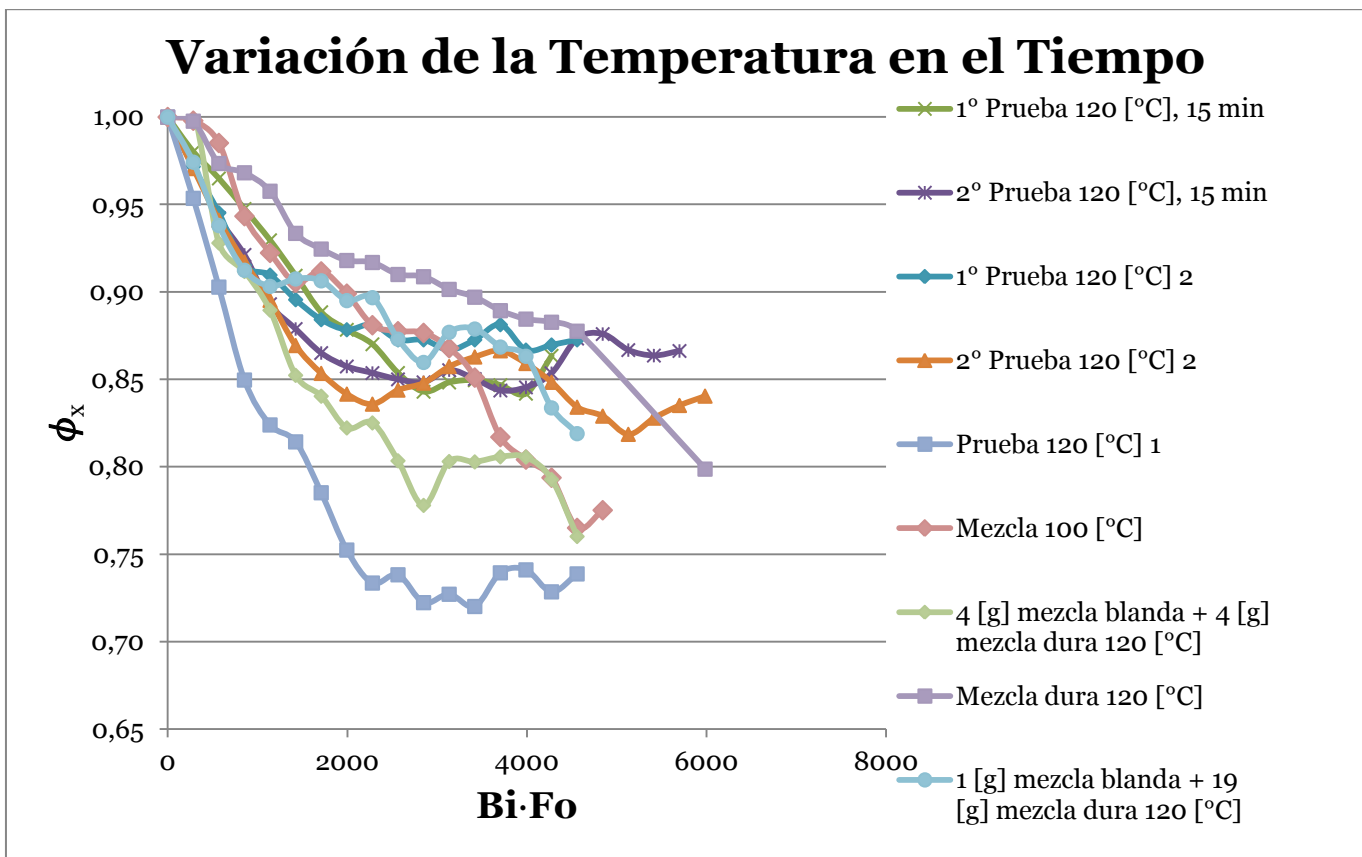
### 3.2.2. Resultados:

A partir de los valores medidos en el laboratorio, se graficaron los adimensionales correspondientes a cada panel, los que se pueden apreciar en la Figura 12:



**Figura 12: Variación de la temperatura en la superficie de los paneles en función del tiempo.**

Los resultados obtenidos para los paneles elaborados se pueden apreciar con mayor detalle en la Figura 13:



**Figura 13: Detalle de los resultados obtenidos para los paneles elaborados.**

A partir del gráfico se aprecia que los paneles elaborados con plástico desechado son menos conductores que el PS expandido, pues presentaron una pendiente más pronunciada, lo que indica que su conductividad térmica es inferior.

Mediante un análisis de los resultados obtenidos, se estimó que los paneles tienen en promedio una conductividad de  $0,028 \left[ \frac{W}{m \cdot K} \right]$ .

En el Anexo B se incluye un ejemplo de los cálculos realizados.

### 3.2.3.Observaciones y discusiones:

El hecho que los paneles elaborados presenten una menor conductividad térmica que el PS expandido se asocia a las irregularidades internas del panel, dadas por la diversidad de materiales empleados, que cumplen la función de dificultar el paso de la energía a través de él.

En tanto, se observa que los resultados presentan una alta desviación, y se aprecia una falta de monotonía en algunas de las mediciones, por lo que no se estimaron

conductividades térmicas individuales, sino que se calculó un valor promedio. Esto se asocia a los errores experimentales, los que se mencionan a continuación:

▪ Elaboración de los paneles:

- 1- La densidad de los paneles se determinó a partir de la masa medida en la balanza; sin embargo, en algunos casos, parte del material fue expulsado del molde durante el proceso de prensado.
- 2- El tiempo de prensado no fue exactamente el mismo para todos los paneles.

▪ Medición de la conductividad térmica:

- 1- La temperatura de la pared del recipiente no se mantuvo constante a lo largo de las experiencias. Para aminorar este efecto, se definió  $T_{\infty}(t)$  como una regresión lineal entre  $T_{\infty}$  inicial y  $T_{\infty}$  final.
- 2- Al medir la temperatura en un mismo punto, los valores indicados por el sensor PT100 y la termocupla presentaban una diferencia de entre 2 y 3 [°C], lo que se puede asociar a errores en la calibración de esta última, y en mayor medida, a que existe un retardo entre el instante en que se realiza la medición y el instante en que se indican los valores obtenidos.
- 3- Se asumió que la transferencia de calor ocurrió solo en una dirección, sin embargo, los paneles no contaban con aislación en sus otras caras, por lo que el flujo de calor se transfirió también a través de ellas.
- 4- La termocupla no midió siempre sobre el mismo punto del panel, y no se mantuvo siempre en contacto con este, lo que probablemente sea la causa del comportamiento no monótono de algunas curvas.
- 5- Las paredes de los paneles no son totalmente lisas, por lo que no estuvieron en completo contacto con el recipiente con agua, lo que ocasionó que la transferencia de calor no se realizara de forma homogénea. Se cree que este es el error que tuvo una mayor inferencia en los resultados obtenidos.

▪ Análisis de datos:

- 1- La densidad y el calor específico de la mezcla se determinaron a partir de los porcentajes de los principales plásticos en los residuos domiciliarios, en lugar de considerar la real composición de la mezcla con que se elaboraron los paneles.

Estos errores no permiten comparar los resultados obtenidos para los paneles elaborados en el laboratorio; sin embargo, cabe señalar que aquellos paneles que fueron sometidos a dos mediciones en días distintos, entre ellos el de PS expandido,

presentaron similares resultados en ambas ocasiones, lo que respalda la metodología empleada.

### **3.2.4. Conclusiones:**

- Los paneles de poliestireno expandido presentaron una mayor conductividad térmica que los paneles elaborados con mezclas de plástico, lo que indica que estos últimos son mejores aislantes.
- Si bien se aprecian diferencias en el comportamiento de los distintos paneles, el error experimental no permite sustentar una comparación cuantitativa entre ellos.
- A partir de los resultados experimentales, se estimó que la conductividad promedio de los paneles es de  $0,028 \left[ \frac{W}{m \cdot K} \right]$ ; no obstante, cabe señalar que este valor puede diferir considerablemente del valor real, debido a los errores asociados al experimento.



# Capítulo 4

## 4. Ingeniería conceptual

### 4.1. Definición del caso base:

El caso base de producción contempla el procesamiento de 42 toneladas mensuales de materia prima, correspondiente al total de plástico estimado que Jaime Pinninghoff recolectará en 5 años, más un factor de seguridad del 20%. Considerando paneles de aproximadamente 1 [cm] de grosor, el flujo a tratar permite cubrir una superficie de 45.300 [m<sup>2</sup>] anuales, lo que equivale al 44,7% de la demanda de aislación para techos y paredes en la ciudad de Osorno.

Los cálculos realizados se encuentran detallados en el Anexo C.

### 4.2. Dimensionamiento:

- Consideraciones:
  - La planta operará 8 horas diarias, de lunes a viernes.
  - El plástico será trasladado en correas transportadoras al interior de la planta.
  - La materia prima se receptorá al menos 1 vez por semana.
  - Los paneles elaborados permanecerán 2 semanas en la bodega de producto terminado.
  - La pérdida de material en el transcurso del proceso será despreciable.

Las dimensiones de los equipos se aprecian en la Tabla 9:

**Tabla 9: Dimensiones de los equipos**

<b>Equipo</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Unidad</b>
Granulador	237	[kg/h]
Mezclador	0,94	[m <sup>3</sup> ]
Prensa	237	[kg/h]
Correas transportadoras	237	[kg/h]
	0,57	[m <sup>3</sup> /h]

El detalle de los cálculos realizados se encuentra en el Anexo D.

En tanto, se determinó que las bodegas de materia prima y producto terminado tendrán las siguientes dimensiones:

**Tabla 10: Dimensiones de las bodegas.**

<b>Bodega</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Unidad</b>
Materia prima	30	[m <sup>3</sup> ]
Producto terminado	30	[m <sup>3</sup> ]

El detalle de los cálculos realizados se encuentra en el Anexo E.

# Capítulo 5

## 5. Evaluación económica

### 5.1. Ingresos:

Los ingresos de la planta provendrán de la venta de los paneles fabricados. Para fijar el precio, se supuso que un panel de plástico proveerá similar aislación que uno de PS expandido, y por lo tanto, tendrán el mismo valor.

Las medidas de cada panel se aprecian en la Tabla 11:

**Tabla 11: Dimensiones de los paneles comerciales de PS expandido y de plásticos desechados.**

Medidas	PS expandido	Panel plásticos desechados
Grosor [m]	0,02	0,01
Ancho [m]	0,5	0,5
Largo [m]	1	1

Se sabe que 1 [m<sup>2</sup>] PS expandido con similar capacidad aislante que un panel fabricado con plásticos cuesta 420 [CLP], lo que equivale a 0,76 [USD]. Considerando lo anterior, los ingresos de la empresa se pueden calcular como:

$$\text{Ingresos} = \text{Precio de venta por superficie aislada} \left[ \frac{\text{USD}}{\text{m}^2} \right] \cdot \text{Superficie anual comercializada} \left[ \frac{\text{m}^2}{\text{año}} \right]$$

Además, como en el caso base de producción se señaló que se fabricarán paneles que permitan aislar una superficie de 45.300 [m<sup>2</sup>], por lo tanto:

$$\begin{aligned} \Rightarrow \text{Ingresos} &= 0,76 \left[ \frac{\text{USD}}{\text{m}^2} \right] \cdot 45.300 \left[ \frac{\text{m}^2}{\text{año}} \right] \\ \Rightarrow \text{Ingresos} &= 34.400 \left[ \frac{\text{USD}}{\text{año}} \right] \end{aligned}$$

Cabe destacar que el precio del panel está directamente ligado a su uso, por lo tanto, si se le diera un uso alternativo al de aislación térmica, su precio podría ser mucho mayor.

## 5.2. Economía potencial:

La economía potencial de un proyecto corresponde a la diferencia entre los ingresos obtenidos por la venta de un producto y el costo de las materias primas necesarias.

En este caso, la única materia prima requerida corresponde al plástico, cuyo precio es de 60.000 [CLP/ton], equivalente a 108 [USD/ton]. Considerando que anualmente se procesan 504 toneladas, entonces el costo de la materia prima equivale a:

$$\text{Costo total materia prima} = \text{Costo materia prima} \left[ \frac{\text{USD}}{\text{ton}} \right] \cdot \text{Flujo a tratar} \left[ \frac{\text{ton}}{\text{año}} \right]$$

$$\Rightarrow \text{Costo total materia prima} = 108 \left[ \frac{\text{USD}}{\text{ton}} \right] \cdot 504 \left[ \frac{\text{ton}}{\text{año}} \right]$$

$$\Rightarrow \text{Costo total materia prima} = 54.600 \left[ \frac{\text{USD}}{\text{año}} \right]$$

Por lo tanto, si los ingresos equivalen a 34.400 [USD/año], entonces la economía potencial es:

$$\text{Economía Potencial} = \text{Ingresos} - \text{Costo total materia prima}$$

$$\Rightarrow \text{Economía Potencial} = 34.400 \left[ \frac{\text{USD}}{\text{año}} \right] - 54.600 \left[ \frac{\text{USD}}{\text{año}} \right]$$

$$\Rightarrow \text{Economía Potencial} = -20.200 \left[ \frac{\text{USD}}{\text{año}} \right]$$

A partir de este resultado, es posible establecer que el proyecto no es económicamente rentable.

## 5.3. Costos de Inversión (CAPEX):

El valor de la inversión se estimó considerando 3 tipos de costos:

- Costos directos: Corresponden a terreno, oficinas, caminos, galpones, equipos y su montaje.
- Costos indirectos: Asociados a los servicios necesarios para acondicionar el terreno y construir la planta, del capital de trabajo y los costos de poner en marcha la planta.
- Otros costos: Relacionados con posibles contingencias y gastos adicionales que no se hayan considerado previamente.

Los costos fueron estimados a partir de las siguientes consideraciones:

- 1- Los costos de los equipos fueron estimados por un experto [22].
- 2- Se estableció que los costos de construcción y montaje corresponden a un 20% del costo de los equipos.
- 3- Los costos indirectos se calcularon a partir de los costos directos.
- 4- Otros costos se estimaron como una fracción de la suma entre costos directos e indirectos.

El desglose de cada uno se puede apreciar en la Tabla 12, Tabla 13 y Tabla 14 respectivamente.

**Tabla 12: Costos directos de la inversión.**

<b>Ítem</b>	<b>Suministros</b>	<b>Construcción y Montaje</b>	<b>Total [USD]</b>
General e Infraestructura	42.000	12.000	54.000
Conminución	20.000	4.000	24.000
Mezcla	2.000	400	2.000
Prensado	40.000	8.000	48.000
<b>Total Costos Directos [USD]</b>	<b>104.000</b>	<b>24.000</b>	<b>128.000</b>

**Tabla 13: Costos indirectos de la inversión.**

<b>Ítem</b>	<b>Total [USD]</b>
Administración de la Construcción	4.000
Servicios de la Ingeniería	13.000
Contrato EPCM	19.000
Repuestos	8.000
Fletes y Gastos de Internación	10.000
Asistencia Proveedores en Terreno	3.000
Puesta en Marcha	80.000
Capital de Trabajo	23.000
<b>Total Costos Indirectos [USD]</b>	<b>160.000</b>

**Tabla 14: Otros costos asociados a la inversión.**

<b>Ítem</b>	<b>Total [USD]</b>
Costos del Dueño	14.000
Contingencias	29.000
<b>Total Otros Costos [USD]</b>	<b>43.000</b>

A partir de estos costos, se determinó que la inversión total asciende aproximadamente a 332.000 [USD]. Un detalle de los valores obtenidos se puede apreciar en el Anexo F.1.

#### **5.4. Costos de operación (OPEX):**

Los costos de operación corresponden a 3 tipos:

- Costos fijos: Costos en que se debe incurrir sin importar el nivel de producción, como por ejemplo, los sueldos de los trabajadores y las depreciaciones de los equipos.
- Costos variables: Costos dependientes del nivel de producción de la planta, como las materias primas,
- Costos indirectos: Costos que no están relacionados de forma directa con la producción, como el pago de contribuciones y patentes municipales.

Los costos fueron estimados a partir de las siguientes consideraciones:

- 1- La empresa contará con 10 trabajadores: 2 administrativos, 5 operarios, 2 guardias y 1 encargado de aseo. Los sueldos fueron fijados en función de los sueldos de mercado.
- 2- Para calcular las depreciaciones, se consideró la “Tabla de Vida Útil de los Bienes Físicos del Activo Inmovilizado”, del Servicio de Impuestos Internos. Además, se asumió que los bienes se deprecian linealmente [23].
- 3- Los costos de electricidad, comunicaciones, agua y combustible se determinaron a partir de los precios de aquellos servicios en la región.
- 4- Para calcular el interés financiero, se consideró un préstamo por la mitad o el total de los costos de inversión, con cuota fija, a 10 años, con un 11% de interés.
- 5- Los costos asociados a seguro y contingencias se estimaron como un porcentaje de otros costos.

Los costos de operación se pueden apreciar en la Tabla 15, Tabla 16 y Tabla 17:

**Tabla 15: Costos fijos de operación.**

<b>Ítem</b>	<b>Total [USD/año]</b>
Sueldos Trabajadores	124.000
Honorarios	1.000
Depreciaciones	71.000
Publicidad	1.000
Comunicaciones	4.000
Seguro	3.000
Contingencias	8.000
Agua	1.000
<b>Total Costos Fijos [USD/año]</b>	<b>213.000</b>

**Tabla 16: Costos variables de operación.**

<b>Ítem</b>	<b>Total [USD/año]</b>
Materias Primas	55.000
Combustible/ Electricidad	38.000
<b>Total Costos Fijos [USD/año]</b>	<b>93.000</b>

**Tabla 17: Costos indirectos de operación.**

<b>Ítem</b>	<b>Total [USD/año]</b>
Interés Comercial (sin préstamo)	-
Interés Comercial (50% préstamo)	12.000
Interés Comercial (100% préstamo)	23.000
Contribuciones + Patente Municipal	1.000
<b>Total Costos Indirectos [USD/año]</b>	<b>1.000</b>
	<b>13.000</b>
	<b>24.000</b>

\* Sin préstamo  
 \* 50% préstamo  
 \* 100% préstamo

Por tanto, los costos de producción anuales ascienden a 308.000 [USD] si no se solicita un préstamo bancario, a 319.000 [USD] si se solicita un préstamo equivalente al 50% de la inversión inicial y a 331.000[USD] si se solicita un préstamo equivalente al 100% de la inversión inicial.

El detalle de los costos se encuentra en el Anexo F.2.

## 5.5. Valor Actual Neto:

Para calcular el Valor Actual Neto del proyecto se consideró un horizonte de evaluación de 15 años, y una tasa de descuento del 15% [24]. El detalle de los flujos de caja se incluye en el Anexo F.3.

Los resultados se aprecian en la Tabla 18:

**Tabla 18: Valor Actual Neto del proyecto con préstamos del 0%, 50% y 100% de la inversión inicial.**

	Sin préstamo	50% préstamo	100% préstamo
VAN [USD]	-1.320.000	-1.180.000	-1.040.000

A partir de los valores obtenidos, se observa que el proyecto no es económicamente rentable, lo cual era de esperar, considerando que la economía potencial es negativa.

## 5.6. Análisis de Sensibilidad:

Para establecer la influencia de ciertas variables de interés en el Valor Actual Neto obtenido, se realizó un análisis de sensibilidad, en el que se estudiaron 3 de ellas: el precio de adquisición del plástico, el precio de venta de los paneles elaborados y la capacidad productiva de la planta.

### 5.6.1. Precio plástico:

Actualmente el plástico es adquirido a un precio de 60.000 [CLP/ton], lo que equivale a 108 [USD/ton]. Considerando que a ese precio la economía potencial del proyecto es negativa, y dado que actualmente las empresas pagan 7.150 [CLP] por cada tonelada de plástico que es retirada y depositada en el vertedero municipal se estudió el escenario en que esta tenga un costo nulo o negativo, lo que en este último caso equivaldría a que las empresas ofrezcan un monto a cambio del retiro y gestión adecuada de sus residuos plásticos no peligrosos.

Los resultados obtenidos se aprecian en la Tabla 19:



**Tabla 19: Valor Actual Neto y Tasa Interna de Retorno obtenidos al variar el precio de compra del plástico.**

Precio [CLP/ton]	Precio [USD/ton]	Sin préstamo		50% préstamo		100% préstamo	
		VAN [USD]	TIR	VAN [USD]	TIR	VAN [USD]	TIR
60.000	108	-1.320.000	-	-1.180.000	-	-1.040.000	-
0	0	-1.040.000	-	-900.000	-	-760.000	-
-7.150	-13	-1.005.000	-	-870.000	-	-727.000	-
-200.000	-361	-113.000	7%	26.000	19%	165.000	137%
-225.000	-406	2.000	15%	140.000	32%	268.000	174%

### 5.6.2. Precio panel:

Como ya fue señalado, el precio de venta del panel se fijó igualando el precio comercial del poliestireno expandido, lo que implica que el proyecto tenga una economía potencial negativa. Por ello, se realizó un análisis para obtener el precio mínimo al que se debe comercializar el panel para que el proyecto sea rentable económicamente.

Los resultados obtenidos se pueden apreciar en la Tabla 20:

**Tabla 20: Actual Neto y Tasa Interna de Retorno obtenidos al variar el precio de venta de los paneles elaborados.**

Precio [CLP/m <sup>2</sup> ]	Precio [USD/m <sup>2</sup> ]	Sin préstamo		50% préstamo		100% préstamo		Número de veces precio actual
		VAN [USD]	TIR	VAN [USD]	TIR	VAN [USD]	TIR	
420	1,2	-1.320.000	-	-1.180.000	-	-1.040.000	-	1
2.100	3,8	-617.000	-	-479.000	-	-338.000	-	5
3.360	6,1	-93.000	8%	46.000	21%	185.000	144%	8
3.780	6,8	79.000	20%	206.000	40%	334.000	198%	9

### 5.6.3.Capacidad:

Se analizó el efecto de incrementar la capacidad productiva de la planta, aumentando 3, 9 y 18 veces el flujo de plásticos a tratar, considerando como escenario un préstamo del 50% de la inversión inicial.

En el primer caso se mantuvieron la mayoría de los costos de inversión, pues se supuso que la planta operaría 24 horas diarias en lugar de 8. Los nuevos costos operación y los costos de inversión en los otros casos fueron estimados mediante la siguiente relación:

$$\frac{Costo_2}{Costo_1} = \left( \frac{Capacidad_2}{Capacidad_1} \right)^{0,6}$$

Los resultados obtenidos se aprecian en la Tabla 21:

**Tabla 21: Valores Actuales Netos obtenidos si se aumenta 3, 9 y 18 veces la capacidad productiva de la planta, con un préstamo del 50% de la inversión inicial.**

VAN caso base [USD]	VAN 3 veces caso base [USD]	VAN 9 veces caso base [USD]	VAN 18 veces caso base [USD]
-1.180.000	-2.310.000	-3.650.000	-4.290.000

Además se estudió el caso en que la capacidad productiva de la planta aumenta 3, 9 y 18 veces y que la materia prima tiene costo nulo o negativo. Los resultados se pueden apreciar en la Tabla 22:

**Tabla 22: Valores Actuales Netos obtenidos si se aumenta 3, 9 y 18 veces la capacidad productiva de la planta, y el precio de adquisición de la materia prima es nulo o negativo, con un préstamo del 50% de la inversión inicial.**

Precio [CLP/ton]	Precio [USD/ton]	VAN caso base [USD]	VAN 3 veces caso base [USD]	VAN 9 veces caso base [USD]	VAN 18 veces caso base [USD]
60.000	108	-1.180.000	-2.310.000	-3.650.000	-4.290.000
0	0	-900.000	-1.480.000	-2.040.000	-1.850.000
-7.150	-13	-870.000	-1.380.000	-1.850.000	-1.560.000
-60.000	-108	-620.000	-650.000	-430.000	510.000
-104.000	-188	-420.000	200	710.000	2.0170.000

# Capítulo 6

## 6. Discusiones

En primer lugar, se debe considerar que el estudio del proyecto se encuentra en la etapa de prefactibilidad, por lo que existe una alta incertidumbre, que implica errores en los supuestos planteados y las estimaciones realizadas.

Con respecto a las pruebas llevadas a cabo en el laboratorio, se debe considerar que, si bien se obtuvieron paneles que cumplen con las características de un aislante térmico, es probable que existan condiciones de operación que permitan elaborar un mejor panel. Asimismo, se podría plantear un diseño mejor que el propuesto, no obstante, esos estudios no fueron abordados, debido a que no formaban parte de los objetivos definidos inicialmente.

Entre las ventajas que presenta el producto propuesto, en relación al PS expandido se puede mencionar:

- Tiene una menor conductividad térmica.
- No atraerá roedores.
- El uso de material de desecho le otorga un valor adicional.

En tanto, su principal desventaja está asociada a su mayor densidad, lo que se traduce en un peso mayor, encareciendo los costos de transporte del producto.

En caso de continuar con el proyecto, se requiere estudiar otras propiedades del panel, por ejemplo, su comportamiento ante la aplicación de esfuerzos. Además, se debe corroborar que el material sea ignífugo, o someterlo a algún tratamiento adicional en caso contrario, lo que encarecería el producto.

En relación a los equipos cotizados, cabe señalar que fueron escogidos a partir de una búsqueda de catálogos, sin embargo, es probable que existan equipos más apropiados que los seleccionados, ya sea por su tamaño, diseño u otras características.

Si bien se estimó un valor para la conductividad térmica, este debe ser ratificado mediante pruebas que tengan un menor error experimental que las realizadas en este trabajo, y cuyas muestras sean estadísticamente significativas, con el fin de disminuir la incertidumbre. Además, se debe considerar que el valor estimado para la conductividad térmica tuvo una directa implicancia en la evaluación económica, pues el grosor de los paneles, y por lo tanto, la masa de plástico requerida para fabricarlos, dependen de esta.

Con respecto al financiamiento del proyecto, no se evaluó la posibilidad de postular a fondos estatales, debido a que se realizó la evaluación económica considerando un escenario pesimista. Sin embargo, se debe destacar que existen variadas alternativas que se pueden considerar, como el programa de financiamiento CORFO de Etapas Tempranas, el de Subsidio Semilla de Asignación Flexible para el Apoyo de Emprendimientos en Desarrollo o el de Validación y Empaquetamiento de Innovaciones [25].

El análisis de sensibilidad efectuado respecto al precio de adquisición de materia prima indica que el proyecto sería rentable solo si las empresas están dispuestas a pagar alrededor de 225.000 [CPL/ton] para que sus residuos plásticos sean retirados, el cual es un valor 35 veces mayor al costo asociado al retiro y disposición de los desechos en el vertedero municipal. Sin embargo, se pueden analizar otros incentivos para incurrir en un costo mayor, como que muchas empresas desean proyectar una imagen positiva a la comunidad, la que se vería fomentada por una gestión consciente y responsable de sus desechos, que permita la reutilización de estos, por lo que se debe estudiar si es un precio que estarían dispuestas a pagar.

El análisis económico se ve perjudicado por el precio de venta del producto, pero resulta difícil aumentarlo, debido a que está directamente ligado el precio de mercado de la competencia; sin embargo, el panel podría tener otros usos alternativos a la aislación térmica, como por ejemplo, aislación acústica, aislación eléctrica, o recubrimientos, entre otros. Esto podría significar un aumento en su precio de venta, que incluso podría superar los 3.780 [CLP/m<sup>2</sup>], y por lo tanto, mejorar los resultados de la evaluación económica.

Por otro lado, si bien el análisis de sensibilidad indicó que el VAN disminuye a medida que aumenta la producción, esto se atribuye a los altos costos de la materia prima y de operación en relación al precio de venta del panel; sin embargo, si el VAN fuera positivo, aumentar la producción favorecería la rentabilidad económica del proyecto, debido al efecto de las economías de escala.

En tanto, cabe señalar que existen otras herramientas de evaluación de proyectos que podrían entregar resultados diferentes a los obtenidos en esta evaluación, como por ejemplo, el VAN social o el HAIN.

Finalmente, para garantizar la ejecución de un proyecto responsable y consciente con todos los agentes involucrados, hace falta efectuar un estudio que contemple los impactos asociados, y realizar un análisis de Responsabilidad Social Empresarial.

# Capítulo 7

## 7. Conclusiones y recomendaciones

Considerando que la materia prima consiste principalmente en desechos de empresas e industrias de la zona, que no realizan una separación de acuerdo al tipo de plástico, y debido a los costos asociados a la clasificación, se propuso un proceso mecánico comprendido por 3 operaciones unitarias principales: conminución, homogenización y prensado, cuya principal ventaja es que permite elaborar paneles empleando todo tipo de plásticos, sin necesidad de clasificarlos, lo que disminuye los costos en relación a los procesos tradicionales, confiere mayor simplicidad y otorga la posibilidad de aprovechar una gran parte de los residuos plásticos disponibles, minimizando el flujo de desechos enviado a los vertederos. Además, a diferencia de los procesos mecánicos convencionales, este no consta de etapas de lavado, lo que minimiza el uso de agua.

Se elaboraron paneles a escala de laboratorio, empleando muestras del mismo plástico a utilizar como materia prima en la planta, con el fin de determinar la factibilidad técnica de procesar la materia prima sin clasificarla ni lavarla, lo que permitió escoger las etapas del proceso productivo. Posteriormente se realizó un ensayo para determinar la conductividad térmica de los paneles, la cual se estimó en  $0,028 \left[ \frac{W}{m \cdot K} \right]$ .

La ingeniería conceptual de la planta fue desarrollada considerando que se procesan 504 toneladas de plástico anuales como caso base. Para dimensionar los equipos y bodegas se supuso que la planta opera 8 horas diarias, durante 5 días a la semana, por lo que se podría triplicar la producción sin aumentar la capacidad de la planta.

Se requiere una inversión de 330.000 [USD] para implementar el proyecto, y sus costos de operación alcanzan entre 310.000 y 330.000 [USD] anuales.

La evaluación económica arrojó un VAN de -1.320.000 [USD] si no se pide préstamo, -1.180.000 [USD] con un préstamo equivalente al 50% de la inversión y -1.040.000 [USD] con un préstamo equivalente al 100% de la inversión.

A partir del análisis de sensibilidad se encontró que el VAN disminuye a medida que aumenta la capacidad de la planta, y que se requiere aumentar 9 veces el precio de venta, o recibir un pago de 406 [USD] por cada tonelada de plástico retirado para que el proyecto sea rentable sin recibir financiamiento. No obstante, es preciso señalar que el análisis económico depende del grosor de los paneles, el que se determinó en función de la conductividad térmica estimada, la cual tiene un importante error asociado. Por tanto, la determinación de la conductividad real podría cambiar las cifras obtenidas.

Finalmente, para realizar un análisis más completo del proyecto a futuro, se sugiere:

- Mejorar el diseño del panel y encontrar las condiciones de operación que permitan optimizar sus propiedades aislantes.
- Realizar ensayos para determinar la conductividad térmica del panel con un mayor grado de certeza, y así establecer su grosor apropiado.
- Caracterizar el panel de acuerdo a todas las propiedades que resulten relevantes para cumplir con su función.
- Estudiar y considerar alternativas de financiamiento del proyecto.
- Establecer otros usos alternativos que se le pueda otorgar al panel, cuyo precio de venta supere los 3.780 [CLP/m<sup>2</sup>], para que el proyecto sea económicamente rentable en el escenario actual.
- Efectuar un análisis de los impactos asociados al proyecto.
- Realizar una evaluación social del proyecto, analizando, entre otros, los beneficios que otorga a la comunidad vivir en un entorno con menor contaminación.

## Bibliografía

- [1] P. Garrido, *Diseño e implementación de un reactor continuo para la degradación química de polímeros*, Tesis de pregrado, Santiago, 2013.
- [2] D. Berenguer, *Craqueo catalítico de polímeros; estudio de diferentes sistemas polímero/catalizador*, Tesis de doctorado, Alicante, 2008.
- [3] PlasticsEurope, «Plastics – the Facts 2012. An analysis of European plastics production, demand and waste data for 2011», Informe, 2012.
- [4] E. Biassoto Mano, É. Pacheco y C. Bonello, Medio Ambiente, Poluição e Reciclagem, Libro, São Paulo: Edgard Blücher, 2005.
- [5] R. Siddique, J. Khatib y I. Kaur, «Use of recycled plastic in concrete: A review,» *Waste Management*, Publicación científica, n<sup>o</sup> 28, pp. 1835-1852, 2008.
- [6] T. Velilla, *Estudio de la polimerización de etileno y propileno en sistemas homogéneos y heterogéneos: Correlación estado del catalizador - Propiedades de los polímeros formados*, Tesis de doctorado, Santiago, Chile, 2007.
- [7] M. Allsopp, A. S. D. Walters y P. Johnston, «Plastic Debris in the World's Oceans», Informe de Greenpeace, Amsterdam, Netherlands, 2006.
- [8] K. Marks y D. Howden, «The World's Rubbish Dump: A tip that stretches from Hawaii to Japan» Artículo de prensa, *Independent*, 05 Febrero 2008.
- [9] Comisión Nacional del Medio Ambiente, «Primer Reporte del Manejo de Residuos Sólidos en Chile» Informe gubernamental, Santiago, Chile, 2010.
- [10] Datasur «Perfil de la Industria del Plástico», Informe, 2012.
- [11] W. Wuth, *Desarrollo y evaluacion de una empresa recicladora de envases plásticos desechables PET y envases de bebidas enlatadas*, Tesis de pregrado, Santiago, Enero de 2010.
- [12] Ingeniería Alemana S.A., «Declaración de Impacto Ambiental (DIA): Plan de cierre vertedero municipal comuna de Osorno», Informe, Osorno, 2009.
- [13] Contraloría Regional de Los Lagos: Unidad de Control Externo., «Informe de Seguimiento», Informe, Puerto Montt, Octubre de 2013.
- [14] A. Merrington, *Recycling of Plastics*, Publicación científica, Elsevier, pp. 177-192.

- [15] J. Montecinos, Á. Torrico and J. J. Bueno, “Reciclado de botellas de PET”, Informe gubernamental, La Paz, 2004.
- [16] J. Arandes, J. Bilbao and D. López, “Reciclado de residuos plásticos”, Artículo de revista, *Revista Iberoamericana de Polímeros*, vol. 5, no. 1, Marzo de 2004.
- [17] Zicla, «Zicla Innovación en productos reciclados,» [En línea]. Disponible en: <http://www.zicla.com/>. [Último acceso: 28 Marzo 2014].
- [18] Ingepol Outdoor, «Ingepol Outdoor,» [En línea]. Disponible en: <http://www.ingepoloutdoor.com/>. [Último acceso: 16 Abril 2014].
- [19] D. Burgos, *Análisis y propuestas de soluciones técnicas de aislación térmica exterior en el mercado chileno*, Tesis de pregrado, Santiago, 2008.
- [20] Architonic, «Productos y Materiales,» [En línea]. Disponible en: <http://www.architonic.com/es/pmpro/de-poliester-paneles-de-plastico-plasticos-materiales-sinteticos-materiales-acabados/3240409/2/2/1>. [Último acceso: 25 Septiembre 2013].
- [21] IQ4801 Laboratorio de Ingeniería Química, *Guía de experiencias 2011*.
- [22] E. Vergara, *Cotización de equipos*. [Entrevista]. Junio 2014.
- [23] Servicio de Impuestos Internos, Nueva Tabla de Vida Útil de los Bienes Físicos del Activo Inmovilizado Junio 2014. [En línea]. Disponible en: [http://www.sii.cl/pagina/valores/bienes/tabla\\_vida\\_enero.htm](http://www.sii.cl/pagina/valores/bienes/tabla_vida_enero.htm).
- [24] R. Badilla, *Evaluación económica de proyectos*, Curso IQ6702 Taller de Proyectos, Julio 2013.
- [25] CORFO, «Programas y Concursos,» [En línea]. Disponible en: <http://www.corfo.cl/necesidad/financiar>. [Último acceso: 8 Julio 2014].
- [26] s. d. O. Cámara Chilena de la Construcción, , [Entrevista]. Abril 2014.
- [27] J. E. Mark, *Physical Properties of Polymers Handbook*, 2° ed., Srpinger, 2007.
- [28] D. W. Green y R. H. Perry, *Perry's Chemical Engineers' Handbook*, Libro 8° ed., Mc Graw-Hill.
- [29] F. Santamaría, *Tabla Periódica de los Elementos*, Santiago de Chile: Universitaria, 2005.



## Anexos:

### A) Datos experimentales:

- Panel 1:

Tabla 23: Datos experimentales para el panel 1.

<b>Panel 1, 120 [°C]</b>		
<b>Ti pared [°C]</b>	44,5	
<b>Tf pared [°C]</b>	46,6	
<b>Tiempo [s]</b>	<b>Temperatura panel [°C]</b>	<b>T pared [°C]</b>
0	22,6	44,5
20	24,6	44,6
40	26,7	44,8
60	28,8	44,9
80	29,8	45,0
100	30,2	45,2
120	31,3	45,3
140	32,5	45,4
160	33,2	45,6
180	33,1	45,7
200	33,7	45,8
220	33,6	45,9
240	33,9	46,1
260	33,3	46,2
280	33,3	46,3
300	33,8	46,5
320	33,5	46,6

- Panel 2:

Tabla 24: Datos experimentales para el panel 2, primera prueba.

<b>1° Prueba panel 2, 120 [°C]</b>		
<b>Ti pared [°C]</b>	42,2	
<b>Tf pared [°C]</b>	42,2	
<b>Tiempo [s]</b>	<b>Temperatura panel [°C]</b>	<b>T pared [°C]</b>
0	22,5	42,2
20	23,6	42,2
40	24,6	42,2
60	25,7	42,2
80	25,9	42,2
100	26,4	42,2
120	26,8	42,2
140	27	42,2
160	26,9	42,2
180	27,2	42,2
200	27,2	42,2
220	27,4	42,2
240	27,2	42,2
260	26,9	42,2
280	27,4	42,2
300	27,3	42,2
320	27,2	42,2

**Tabla 25: Datos experimentales para el panel 2, segunda prueba.**

<b>2° Prueba panel 2, 120 [°C]</b>		
<b>Ti pared [°C]</b>	43	
<b>Tf pared [°C]</b>	49	
<b>Tiempo [s]</b>	<b>Temperatura panel [°C]</b>	<b>T pared [°C]</b>
0	15,8	43
20	17,4	43,4
40	19	43,8
60	20,3	44,1
80	21,5	44,5
100	22,9	44,9
120	23,8	45,3
140	24,5	45,6
160	24,9	46,0
180	24,6	46,4
200	24,5	46,8
220	24,1	47,1
240	23,9	47,5
260	23,8	47,9
280	24,3	48,3
300	25	48,6
320	25,9	49,0
340	26,3	49,4
360	27	49,8
380	26,6	50,1
400	26,3	50,5
420	26,1	50,9

- Panel 3:

**Tabla 26: Datos experimentales para el panel 3.**

<b>Mezcla 100 [°C]</b>		
<b>Ti pared [°C]</b>	46,8	
<b>Tf pared [°C]</b>	44	
<b>Tiempo [s]</b>	<b>Temperatura panel [°C]</b>	<b>T pared [°C]</b>
0	22,7	46,8
20	22,8	46,6
40	23,4	46,5
60	25,3	46,3
80	26,2	46,1
100	26,9	46,0
120	26,6	45,8
140	27,1	45,6
160	27,8	45,5
180	27,9	45,3
200	27,9	45,2
220	28,2	45,0
240	28,8	44,8
260	30	44,7
280	30,4	44,5
300	30,7	44,3
320	31,6	44,2
340	31,2	44,0

- Panel 4:

**Tabla 27: Datos experimentales para el panel 4.**

<b>4 [g] mezcla blanda + 4 [g] mezcla dura, 120 [°C]</b>		
<b>Ti pared [°C]</b>	44,7	
<b>Tf pared [°C]</b>	44,4	
<b>Tiempo [s]</b>	<b>Temperatura panel [°C]</b>	<b>T pared [°C]</b>
0	24,5	44,7
20	24,4	44,7
40	27,3	44,7
60	27,9	44,6
80	28,7	44,6
100	30	44,6
120	30,4	44,6
140	31	44,6
160	30,9	44,6
180	31,6	44,5
200	32,4	44,5
220	31,6	44,5
240	31,6	44,5
260	31,5	44,5
280	31,5	44,4
300	31,9	44,4
320	32,9	44,4

- Panel 5:

**Tabla 28: Datos experimentales para el panel 5.**

<b>1 [g] mezcla blanda + 19 [g] mezcla dura 120 [°C]</b>		
<b>Ti pared [°C]</b>	42,2	
<b>Tf pared [°C]</b>	47,5	
<b>Tiempo [s]</b>	<b>Temperatura panel [°C]</b>	<b>T pared [°C]</b>
0	22,9	42,2
20	23,9	42,5
40	25,3	42,9
60	26,3	43,2
80	26,7	43,5
100	26,6	43,9
120	26,7	44,2
140	27,2	44,5
160	27,2	44,9
180	28,2	45,2
200	28,8	45,5
220	28,2	45,8
240	28,2	46,2
260	28,7	46,5
280	29	46,8
300	30,3	47,2
320	31	47,5

- Panel 6:

**Tabla 29: Datos experimentales para el panel 6.**

<b>Mezcla dura 120 [°C]</b>		
<b>Ti pared [°C]</b>	44,1	
<b>Tf pared [°C]</b>	40	
<b>Tiempo [s]</b>	<b>Temperatura panel [°C]</b>	<b>T pared [°C]</b>
0	22,6	44,1
20	22,7	43,8
40	23,7	43,6
60	23,9	43,3
80	24,3	43,1
100	25,2	42,8
120	25,5	42,6
140	25,7	42,3
160	25,7	42,1
180	25,9	41,8
200	25,9	41,5
220	26,1	41,3
240	26,2	41,0
260	26,4	40,8
280	26,5	40,5
300	26,5	40,3
320	26,6	40,0
420	28,9	40

- Panel 7:

**Tabla 30: Datos experimentales para el panel 7, primera prueba.**

<b>1° Prueba 120 [°C], 15 min</b>		
<b>Ti pared [°C]</b>	47	
<b>Tf pared [°C]</b>	45	
<b>Tiempo [s]</b>	<b>Temperatura panel [°C]</b>	<b>T pared [°C]</b>
0	16,3	47,0
20	17,5	46,9
40	18,4	46,7
60	19,4	46,6
80	20,4	46,5
100	21,5	46,3
120	22,6	46,2
140	23,1	46,1
160	23,5	45,9
180	24,3	45,8
200	24,8	45,7
220	24,5	45,5
240	24,4	45,4
260	24,5	45,3
280	24,7	45,1
300	23,6	45,0



**Tabla 31: Datos experimentales para el panel 7, segunda prueba.**

<b>2° Prueba 120 [°C], 15 min</b>		
<b>Ti pared [°C]</b>	42	
<b>Tf pared [°C]</b>	53	
<b>Tiempo [s]</b>	<b>Temperatura panel [°C]</b>	<b>T pared [°C]</b>
0	15,8	42
20	17,3	42,7
40	18,9	43,5
60	20,1	44,2
80	21,7	44,9
100	22,6	45,7
120	23,5	46,4
140	24,1	47,1
160	24,5	47,9
180	24,9	48,6
200	25,2	49,3
220	25	50,1
240	25,5	50,8
260	26,1	51,5
280	26,2	52,3
300	25,9	53,0
320	24,8	53,7
340	24,8	54,5
360	25,6	55,2
380	26	55,9
400	26	56,7

- Panel 8:

**Tabla 32: Datos experimentales para el panel 8, primera prueba.**

<b>1° Prueba PS exp</b>		
<b>Ti pared [°C]</b>	55,8	
<b>Tf pared [°C]</b>	56	
<b>Tiempo [s]</b>	<b>Temperatura panel [°C]</b>	<b>T pared [°C]</b>
0	15,7	55,8
20	16,6	55,8
40	18,1	55,8
60	18,7	55,8
80	19,2	55,9
100	19,4	55,9
120	20,1	55,9
140	21,2	55,9
160	21,7	55,9
180	21,7	55,9
200	21,9	55,9
220	21,8	55,9
240	21,9	56,0

Tabla 33: Datos experimentales para el panel 8, segunda prueba.

<b>2° Prueba PS exp</b>		
<b>Ti pared [°C]</b>	46,5	
<b>Tf pared [°C]</b>	48,5	
<b>Tiempo [s]</b>	<b>Temperatura panel [°C]</b>	<b>T pared [°C]</b>
0	14,7	46,5
20	16,4	46,6
40	18,1	46,8
60	19,1	46,9
80	19,7	47,0
100	20,5	47,2
120	20,4	47,3
140	20,3	47,4
160	20,4	47,6
180	20,3	47,7
200	20,4	47,8
220	20,7	48,0
240	21,2	48,1
260	21,3	48,2
280	22	48,4
300	21,3	48,5
320	20,6	48,6

## B) Ejemplo de cálculo para realizar el análisis de los datos experimentales:

Para efectos de este ejemplo, se tomarán en cuenta los siguientes datos:

Tabla 34: Valor de las variables empleadas para el ejemplo.

<b>Variable</b>	<b>Valor</b>
Tiempo	320 [s]
$T_{\infty}$	46,6 [°C]
$T_0$	22,6 [°C]
$T$	33,5 [°C]

Además, se considerarán las siguientes propiedades:

**Tabla 35: Valor de los parámetros empleados para el ejemplo.**

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Conductividad térmica del recipiente	0,273 $\left[\frac{kJ}{K \cdot m \cdot s}\right]$
Densidad	850 $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$
Largo característico	0,004 [m]
Calor específico	1,409 $\left[\frac{kJ}{K \cdot kg}\right]$

- Cálculo del producto  $Bi \cdot Fo$ :

Se tiene que el número de Biot corresponde a:

$$Bi = \frac{k_{pared}}{k_{panel}}$$

Y el número de Fourier se define como:

$$Fo = \frac{k_{panel} \cdot t}{\Omega_s \cdot C_p \cdot L^2}$$

Por lo tanto, al multiplicarlos se obtiene la siguiente expresión:

$$Bi \cdot Fo = \frac{k_{pared} \cdot t}{\Omega_s \cdot c_p \cdot L^2}$$

Reemplazando con los datos y parámetros, se tiene:

$$Bi \cdot Fo = \frac{0,273 \left[\frac{kJ}{K \cdot m \cdot s}\right] \cdot 320 [s]}{850 \left[\frac{kg}{m^3}\right] \cdot 1,409 \left[\frac{kJ}{K \cdot kg}\right] \cdot 0,004^2 [m]} = 4.559$$

- Cálculo de  $\phi$ :

La temperatura adimensional se calcula como:

$$\phi = \frac{T - T_{\infty}}{T_0 - T_{\infty}}$$

Por lo tanto, para este caso se tiene que:

$$\phi = \frac{33,5[^\circ\text{C}] - 46,6[^\circ\text{C}]}{22,6[^\circ\text{C}] - 46,6[^\circ\text{C}]} = 0,55$$

### C) Cálculo del caso base:

Los requerimientos de aislación de una casa de 70 [m<sup>2</sup>] son los siguientes [26]:

**Tabla 36: Requerimientos de aislación de una casa de 70 [m<sup>2</sup>].**

<b>Superficie a aislar</b>	<b>Muros</b>	<b>Techo</b>
Área [m <sup>2</sup> ]	65	70

A partir de estos datos, se puede calcular la superficie total de aislante empleado en la construcción de una casa:

$$S_{total} = S_{muros} + S_{techo}$$

$$\Rightarrow S_{total} = 65 [m^2] + 70 [m^2] = 135 [m^2]$$

El promedio de casas construidas en Osorno entre los años 2011 y 2013 fue de 752 [casas/año] [26]. Por lo tanto, la superficie anual de aislante requerida en la ciudad es la siguiente:

$$S_{anual\ requerida} = 135 \left[ \frac{m^2}{casa} \right] \cdot 752 \left[ \frac{casas}{año} \right] = 101.520 \left[ \frac{m^2}{año} \right]$$

En tanto, se tiene que, en promedio, la densidad de los paneles elaborados a escala laboratorio es de 849,7 [kg/m<sup>3</sup>]. Esta se calculó de la siguiente manera:

$$V_{panel\ laboratorio} = 0,045[m] \cdot 0,08 [m] \cdot 0,004[m] = 1,53 \times 10^{-5} [m^3]$$

$$\rho_{panel\ laboratorio} = \frac{13[g] \cdot 10^{-3} \left[ \frac{kg}{g} \right]}{1,53 \times 10^{-5} [m^3]} = 849,7 \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$$

Actualmente, Jaime Pinninghoff recibe 30 toneladas mensuales de plástico. Si se estima un aumento en la disponibilidad de materia prima de un 16%, dado por el crecimiento en

el consumo de plástico en los próximos 5 años [10], y se considera un 20% como factor de seguridad, se obtiene una producción de 42 toneladas mensuales:

$$30 \left[ \frac{\text{ton}}{\text{mes}} \right] \cdot 1,16 \cdot 1,2 \approx 42 \left[ \frac{\text{ton}}{\text{mes}} \right]$$

Dado lo anterior, el volumen anual de paneles que se puede fabricar es:

$$V_{\text{anual fabricado}} = \frac{42 \left[ \frac{\text{ton}}{\text{mes}} \right] \cdot 12 \left[ \frac{\text{mes}}{\text{año}} \right] \cdot 1000 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{ton}} \right]}{849,7 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]} = 593 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{año}} \right]$$

Se estima que los paneles tendrán un grosor de 2 [cm], por tanto, la superficie cubierta será:

$$S_{\text{anual cubierta}} = \frac{593 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{año}} \right]}{0,02 \text{ [m]}} = 29.466 \left[ \frac{\text{m}^2}{\text{año}} \right]$$

Lo que equivale a un 29,02% de la demanda anual de aislante en la ciudad:

$$\text{Porcentaje} = \frac{29.466 \left[ \frac{\text{m}^2}{\text{año}} \right]}{101.520 \left[ \frac{\text{m}^2}{\text{año}} \right]} \cdot 100 = 29,02\%$$

## D) Dimensionamiento equipos:

- Granulador:

El granulador se escogió por catálogo, en función del flujo másico a tratar. Considerando que la planta opera 8 horas diarias, durante 5 días a la semana, entonces se tiene que:

$$\text{Flujo} = 42 \left[ \frac{\text{ton}}{\text{mes}} \right] \cdot \frac{1}{22} \left[ \frac{\text{mes}}{\text{día}} \right] \cdot \frac{1}{8} \left[ \frac{\text{día}}{\text{h}} \right]$$

$$\Rightarrow \text{Flujo} = 0,238 \left[ \frac{\text{ton}}{\text{h}} \right]$$

- Mezclador:

La capacidad másica del mezclador se puede expresar como:

$$Capacidad = Flujo \text{ másico} \cdot Tiempo \text{ de mezclado}$$

Dadas las características de la mezcla, se estimó un tiempo de mezclado de 10 minutos; por lo tanto, la capacidad es:

$$\Rightarrow Capacidad = 0,238 \left[ \frac{ton}{h} \right] \cdot \frac{10 [min]}{60 \left[ \frac{min}{h} \right]}$$

$$\Rightarrow Capacidad = 0,04 [ton]$$

Luego, el volumen del mezclador se obtiene a partir del cociente entre su capacidad másica y la densidad de la mezcla:

$$Volumen = \frac{Capacidad}{Densidad \text{ mezcla}}$$

$$\Rightarrow Volumen = \frac{0,04 [ton]}{0,420 \left[ \frac{ton}{m^3} \right]} = 0,094 [m^3]$$

- Prensa:

Se estimó que el tiempo de carga material y descarga de producto será de 2 minutos para cada panel, y se contempló un tiempo de prensado de 3 minutos.

La superficie de la prensa se estimó como:

$$Superficie = \frac{Flujo \text{ volumétrico}}{Grosor \text{ panel}} \cdot Tiempo \text{ de prensado}$$

$$Superficie = \frac{0,565 \left[ \frac{m^3}{h} \right]}{0,013 [m]} \cdot \frac{5 [min]}{60 \left[ \frac{min}{h} \right]}$$

$$\Rightarrow Superficie = 3,62 [m^2]$$

Suponiendo que los paneles sean cuadrados, entonces los lados de la superficie de la prensa serán iguales:

$$lado = \sqrt[2]{3,62 [m^2]}$$

$$\Rightarrow lado = 1,9 [m]$$

## E) Dimensionamiento bodegas:

- Cálculo de la densidad aparente de la materia prima:

A partir de la composición de los residuos plásticos de Estados Unidos, se supuso que la mezcla a emplear tendrá la siguiente composición [5]:

Tabla 37: Composición del flujo de plásticos.

Material	Porcentaje en paneles [%]
PP	13,9
LDPE	27
HDPE	22,2
PS	10,7
PVC	13
PET	9,2
Otros	4

A partir de la densidad de cada uno [27], se determinó una densidad ponderada, tal como se aprecia en el cálculo a continuación:

$$\rho_{\text{plásticos}} = \sum_i \rho_i \cdot \%_i$$

$$\rho_{\text{plásticos}} = \rho_{PP} \cdot \%_{PP} + \rho_{LDPE} \cdot \%_{LDPE} + \rho_{HDPE} \cdot \%_{HDPE} + \rho_{PS} \cdot \%_{PS} \\ + \rho_{PVC} \cdot \%_{PVC} + \rho_{PET} \cdot \%_{PET} + \rho_{Otros} \cdot \%_{Otros}$$

$$\rho_{\text{plásticos}} = 0,885 \left[ \frac{g}{cm^3} \right] \cdot 13,9\% + 0,9175 \left[ \frac{g}{cm^3} \right] \cdot 27\% + 0,953 \left[ \frac{g}{cm^3} \right] \cdot 22,2\% \\ + 1,065 \left[ \frac{g}{cm^3} \right] \cdot 10,7\% + 1,405 \left[ \frac{g}{cm^3} \right] \cdot 13\% + 1,375 \left[ \frac{g}{cm^3} \right] \cdot 9,2\% \\ + 1,047 \left[ \frac{g}{cm^3} \right] \cdot 4\%$$

$$\Rightarrow \rho_{\text{plásticos}} = 1,047 \left[ \frac{g}{cm^3} \right]$$

En tanto, se encontró que para una mezcla de aire con la siguiente composición:



**Tabla 38: Composición del aire**

Elemento	Porcentaje [%]
N <sub>2</sub>	78,12
O <sub>2</sub>	20,96
Ar	0,92

Además, se sabe que su densidad molar es de 0,040103 [mol/dm<sup>3</sup>] a 300 [K] y 0,1 [MPa] [28].

Empleando los pesos molares de cada componente [29], se determinó el peso molar de la mezcla:

$$PM_{aire} = PM_{N_2} \cdot \%_{N_2} + PM_{O_2} \cdot \%_{O_2} + PM_{Ar} \cdot \%_{Ar}$$

$$PM_{aire} = 14,0067 \left[ \frac{g}{mol} \right] \cdot 78,12\% + 15,9994 \left[ \frac{g}{mol} \right] \cdot 20,96\% + 39,948 \left[ \frac{g}{mol} \right] \cdot 0,92\%$$

$$\Rightarrow PM_{aire} = 28,96 \left[ \frac{g}{mol} \right]$$

A partir de este, se determinó la densidad del aire en [g/cm<sup>3</sup>]:

$$\rho_{aire} = 0,040103 \left[ \frac{mol}{dm^3} \right] \cdot 28,96 \left[ \frac{g}{mol} \right] \cdot \frac{1 [dm^3]}{1000 [cm^3]}$$

$$\Rightarrow \rho_{aire} = 1,16 \times 10^{-3} \left[ \frac{g}{cm^3} \right]$$

Finalmente, se calculó la densidad de la mezcla, ponderando las densidades individuales por su fracción volumétrica, tal como se aprecia en la siguiente relación:

$$\rho_{mezcla} = \rho_{aire} \cdot \phi_{aire} + \rho_{plásticos} \cdot \phi_{plásticos}$$

A partir de lo que se observó en el procedimiento experimental, se estimó que  $\phi_{aire}$  es 0,6 y  $\phi_{plásticos}$  es 0,4. Por lo tanto, la densidad de la mezcla es la siguiente:

$$\rho_{mezcla} = 1,16 \times 10^{-3} \left[ \frac{g}{cm^3} \right] \cdot 0,6 + 1,047 \left[ \frac{g}{cm^3} \right] \cdot 0,4$$

$$\Rightarrow \rho_{mezcla} = 0,42 \left[ \frac{g}{cm^3} \right]$$

- Bodega de materia prima:

Para dimensionar la bodega, primero se requiere conocer el flujo volumétrico de materia prima que se debe almacenar:

$$\text{Flujo volumétrico} = \frac{\text{Flujo másico}}{\text{Densidad plásticos receptados}}$$

$$\Rightarrow \text{Flujo volumétrico} = \frac{42 \left[ \frac{\text{ton}}{\text{mes}} \right]}{0,420 \left[ \frac{\text{ton}}{\text{m}^3} \right]} = 100 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{mes}} \right]$$

Luego, considerando que la materia prima será receptada con una frecuencia de al menos una vez por semana, la capacidad de la bodega será:

$$\text{Capacidad} = \frac{\text{Flujo volumétrico}}{\text{Frecuencia de recepción}}$$

$$\Rightarrow \text{Capacidad} = \frac{100 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{mes}} \right]}{4 \left[ \frac{\text{semana}}{\text{mes}} \right] \cdot 1 \left[ \frac{\text{vez}}{\text{semana}} \right]} = 25 \left[ \text{m}^3 \right]$$

Finalmente, se sumó un 20% al valor estimado, por motivos de seguridad:

$$\Rightarrow \text{Capacidad} = 25 \left[ \text{m}^3 \right] \cdot 1,2 = 30 \left[ \text{m}^3 \right]$$

- Bodega de producto terminado:

En este caso, se requiere conocer el flujo volumétrico de paneles que se requiere almacenar.

$$\text{Flujo volumétrico} = \frac{\text{Flujo másico}}{\text{Densidad paneles}}$$

$$\text{Flujo volumétrico} = \frac{42 \left[ \frac{\text{ton}}{\text{mes}} \right]}{0,85 \left[ \frac{\text{ton}}{\text{m}^3} \right]} = 49,1 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{mes}} \right]$$

Para determinar la capacidad necesaria, se supuso que su tiempo de permanencia en la bodega será de 2 semanas.

$$\text{Capacidad} = \frac{\text{Flujo volumétrico}}{\text{Tiempo almacenamiento}}$$

$$\Rightarrow \text{Capacidad} = \frac{49,1 \left[ \frac{m^3}{mes} \right]}{4 \left[ \frac{semana}{mes} \right] \cdot 2 \left[ \frac{vez}{semana} \right]} = 25 [m^3]$$

Finalmente, al igual que en el caso anterior se sumó un 20% al valor estimado, por motivos de seguridad:

$$\Rightarrow \text{Capacidad} = 25 [m^3] \cdot 1,2 = 30 [m^3]$$

## F) Evaluación económica:

### F.1) Costos de inversión (CAPEX):

#### 1- Cálculo de los costos directos:

- Equipos: El costo de los equipos necesarios se aprecia en la Tabla 39:

**Tabla 39: Costo de los suministros.**

<b>Equipo</b>	<b>Total [USD]</b>
Granulador	20.000
Mezclador	1.805
Prensa	40.000
Coreas transportadoras	25.000

- Otros suministros: En la Tabla 40 se aprecia una estimación de los costos asociados a la adquisición y mejora del terreno, y a la construcción de bodegas, oficinas y otros.

**Tabla 40: Costos asociados a otros suministros.**

<b>Ítem</b>	<b>Costo [USD]</b>
Terreno	13.021
Mejoras terreno	1.302
Bodegas	630
Oficinas	6.000
Excavaciones	3.255
<b>Total</b>	<b>24.208</b>

- **Construcción y Montaje:** Estos costos se estimaron como un 20% de los costos de suministros.

El total de los costos directos se aprecia en la Tabla 41:

**Tabla 41: Total costos directos de la inversión.**

<b>Ítem</b>	<b>Suministros</b>	<b>Construcción y Montaje</b>	<b>Total [USD]</b>
General e Infraestructura	42.336	11.872	54.208
Conminución	20.000	4.000	24.000
Mezcla	1.805	361	2.166
Prensado	40.000	8.000	48.000
<b>Total Costos Directos [USD]</b>	<b>104.141</b>	<b>24.233</b>	<b>128.374</b>

## **2- Cálculo de los costos indirectos:**

Los supuestos para estimar los costos indirectos fueron los siguientes:

- Administración de la Construcción: 15% de los costos de construcción y montaje.
- Servicios de Ingeniería: 10% de los costos directos.
- Contrato EPCM: 10% de los costos directos.
- Repuestos: 8% de los costos de suministros.
- Fletes y Gastos de Internación: 10% de los costos de suministros.
- Asistencia Proveedores en Terreno: 3% de los costos de suministros.
- Puesta en Marcha: Equivalente a los costos de operación de 3 meses.
- Capital de Trabajo: Equivalente a los requerimientos de electricidad, combustible y materia prima para 1 mes de producción.

El total de los costos indirectos se aprecia en la Tabla 42:

**Tabla 42: Costos Indirectos de la inversión.**

<b>Ítem</b>	<b>Total [USD]</b>
Administración de la Construcción	3.635
Servicios de la Ingeniería	12.837
Contrato EPCM	19.256
Repuestos	8.331
Fletes y Gastos de Internación	10.414
Asistencia Proveedores en Terreno	3.124
Puesta en Marcha	79.800
Capital de Trabajo	23.084
<b>Total Costos Indirectos [USD]</b>	<b>160.482</b>

### **3- Cálculo de los otros costos:**

Los supuestos para estimar los otros costos fueron los siguientes:

- Costos del Dueño: Se estimaron como un 5% de la suma de costos directos e indirectos.
- Contingencias: Se calcularon como un 10% de la suma de costos directos e indirectos.

Los valores obtenidos fueron los siguientes:

**Tabla 43: Otros costos asociados a la inversión.**

<b>Ítem</b>	<b>Total [USD]</b>
Costos del Dueño	14.443
Contingencias	28.886
<b>Total Otros Costos [USD]</b>	<b>43.328</b>

A partir de estos costos, se determinó que la inversión total asciende a 332.185 [USD].

### **F.2) Costos de operación (OPEX)**

Los costos fijos, variables e indirectos asociados a la operación son los siguientes:

**Tabla 44: Costos fijos de operación.**

<b>Ítem</b>	<b>Total [USD/año]</b>
Sueldos trabajadores	124.332
Honorarios	1.082
Depreciaciones	71.136
Publicidad	1.082
Comunicaciones	4.332
Seguro	2.567
Contingencias	7.946
Agua	1.392
<b>Total Costos Fijos [USD]</b>	<b>213.870</b>

**Tabla 45: Costos variables de operación.**

<b>Ítem</b>	<b>Total [USD/año]</b>
Materias primas	54.584
Combustible/ Electricidad	37.751
<b>Total Costos Fijos [USD]</b>	<b>92.336</b>

**Tabla 46: Costos indirectos de operación.**

<b>Ítem</b>	<b>Total [USD/año]</b>
Interés Comercial (sin préstamo)	-
Interés Comercial (50% préstamo)	11.593
Interés Comercial (100% préstamo)	23.187
Contribuciones	765
<b>Total Costos Indirectos [USD/año]</b>	<b>1.407</b>
	<b>13.001</b>
	<b>24.594</b>

\* Sin préstamo  
 \* 50% préstamo  
 \* 100% préstamo

Finalmente, el total de los Costos de Operación se puede apreciar en la Tabla 47:

**Tabla 47: Total costos de operación.**

<b>OPEX Total [USD/año]</b>	<b>307.613</b>	*Sin préstamo
	<b>319.207</b>	*50% préstamo
	<b>330.800</b>	*100% préstamo

### F.3) Flujo de caja:

- Flujo de caja proyecto sin financiamiento:

**Tabla 48: Flujo de caja del proyecto sin financiamiento, entre el año 0 y el 7, en [USD].**

	<b>Año 0</b>	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>	<b>Año 6</b>	<b>Año 7</b>
Ingresos por ventas	-	34.363	34.363	34.363	34.363	34.363	34.363	34.363
Intereses	-	-	-	-	-	-	-	-
Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-
Costos fijos	-	-142.734	-142.734	-142.734	-142.734	-142.734	-142.734	-142.734
Costos variables	-	-92.336	-92.336	-92.336	-92.336	-92.336	-92.336	-92.336
Costos indirectos	-	-124	-124	-124	-124	-124	-124	-124
Depreciaciones	-	-71.136	-71.136	-71.136	-71.136	-71.136	-71.136	-71.136
Pérdidas del ejercicio anterior	-	-	-271.967	-543.934	-815.900	-1.087.867	-1.359.834	-1.631.801
Utilidades antes de impuestos	-	-271.967	-543.934	-815.900	-1.087.867	-1.359.834	-1.631.801	-1.903.767
Impuesto de primera categoría	-	-	-	-	-	-	-	-
Utilidades después de impuestos	-	-271.967	-543.934	-815.900	-1.087.867	-1.359.834	-1.631.801	-1.903.767
Depreciaciones	-	71.136	71.136	71.136	71.136	71.136	71.136	71.136
Pérdidas del ejercicio anterior	-	-	271.967	543.934	815.900	1.087.867	1.359.834	1.631.801
Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Flujo operacional</b>	<b>-</b>	<b>-200.831</b>	<b>-200.831</b>	<b>-200.831</b>	<b>-200.831</b>	<b>-200.831</b>	<b>-200.831</b>	<b>-200.831</b>
Inversión	-324.490	-	-	-	-	-	-	-
Valor residual de los activos	-	-	-	-	-	-	-	-
IVA de la inversión	-61.653	-	-	-	-	-	-	-



Recuperación IVA de la inversión	-	61.653	-	-	-	-	-	-
Capital de trabajo	-7.695	-	-	-	-	-	-	-
Recuperación de capital de trabajo	-	-	-	-	-	-	-	-
Préstamo	-	-	-	-	-	-	-	-
Amortizaciones	-	-	-	-	-	-	-	-
Flujo de capitales	-393.838	61.653	-	-	-	-	-	-
<b>Flujo de caja</b>	<b>-393.838</b>	<b>-139.178</b>	<b>-200.831</b>	<b>-200.831</b>	<b>-200.831</b>	<b>-200.831</b>	<b>-200.831</b>	<b>-200.831</b>

**Tabla 49: Flujo de caja del proyecto sin financiamiento, entre el año 8 y el 15, en [USD].**

	<b>Año 8</b>	<b>Año 9</b>	<b>Año 10</b>	<b>Año 11</b>	<b>Año 12</b>	<b>Año 13</b>	<b>Año 14</b>	<b>Año 15</b>
Ingresos por ventas	34.363	34.363	34.363	34.363	34.363	34.363	34.363	34.363
Intereses	-	-	-	-	-	-	-	-
Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-
Costos fijos	-142.734	-142.734	-142.734	-142.734	-142.734	-142.734	-142.734	-142.734
Costos variables	-92.336	-92.336	-92.336	-92.336	-92.336	-92.336	-92.336	-92.336
Costos indirectos	-124	-124	-124	-124	-124	-124	-124	-124
Depreciaciones	-71.136	-71.136	-71.136	-71.136	-71.136	-71.136	-71.136	-71.136
Pérdidas del ejercicio anterior	-1.903.767	-2.175.734	-2.447.701	-2.719.668	-2.991.634	-3.263.601	-3.535.568	-3.807.535
Utilidades antes de impuestos	-2.175.734	-2.447.701	-2.719.668	-2.991.634	-3.263.601	-3.535.568	-3.807.535	-4.079.502
Impuesto de primera categoría	-	-	-	-	-	-	-	-
Utilidades después de impuestos	-2.175.734	-2.447.701	-2.719.668	-2.991.634	-3.263.601	-3.535.568	-3.807.535	-4.079.502
Depreciaciones	71.136	71.136	71.136	71.136	71.136	71.136	71.136	71.136
Pérdidas del ejercicio anterior	1.903.767	2.175.734	2.447.701	2.719.668	2.991.634	3.263.601	3.535.568	3.807.535

Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-
Flujo operacional	-200.831	-200.831	-200.831	-200.831	-200.831	-200.831	-200.831	-200.831
Inversión	-	-	-	-	-	-	-	-
Valor residual de los activos	-	-	-	-	-	-	-	-
IVA de la inversión	-	-	-	-	-	-	-	-
Recuperación IVA de la inversión	-	-	-	-	-	-	-	-
Capital de trabajo	-	-	-	-	-	-	-	-
Recuperación de capital de trabajo	-	-	-	-	-	-	-	7.695
Préstamo	-	-	-	-	-	-	-	-
Amortizaciones	-	-	-	-	-	-	-	-
Flujo de capitales	-	-	-	-	-	-	-	7.695
<b>Flujo de caja</b>	<b>-200.831</b>	<b>-200.831</b>	<b>-200.831</b>	<b>-200.831</b>	<b>-200.831</b>	<b>-200.831</b>	<b>-200.831</b>	<b>-193.136</b>

A partir del flujo de caja, empleando una tasa de descuento del 15%, se determinó que el VAN del proyecto es de -1.316.185 [USD].

- Flujo de caja con financiamiento del 50% de la inversión inicial:

**Tabla 50: Flujo de caja del proyecto con financiamiento del 50% de la inversión inicial, entre el año 0 y el 7, en [USD].**

	<b>Año 0</b>	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>	<b>Año 6</b>	<b>Año 7</b>
Ingresos por ventas	-	34.363	34.363	34.363	34.363	34.363	34.363	34.363
Intereses	-	18.270	17.178	15.965	14.619	13.124	11.466	9.625
Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-
Costos fijos	-	-142.734	-142.734	-142.734	-142.734	-142.734	-142.734	-142.734

Costos variables	-	-92.336	-92.336	-92.336	-92.336	-92.336	-92.336	-92.336
Costos indirectos	-	-124	-124	-124	-124	-124	-124	-124
Depreciaciones	-	-71.136	-71.136	-71.136	-71.136	-71.136	-71.136	-71.136
Pérdidas del ejercicio anterior	-	-	-253.697	-508.486	-764.488	-1.021.836	-1.280.678	-1.541.179
Utilidades antes de impuestos	-	- 253.697	-508.486	-764.488	-1.021.836	-1.280.678	-1.541.179	-1.803.521
Impuesto de primera categoría	-	-	-	-	-	-	-	-
Utilidades después de impuestos	-	- 253.697	-508.486	-764.488	-1.021.836	-1.280.678	-1.541.179	-1.803.521
Depreciaciones	-	71.136	71.136	71.136	71.136	71.136	71.136	71.136
Pérdidas del ejercicio anterior	-	-	253.697	508.486	764.488	1.021.836	1.280.678	1.541.179
Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Flujo operacional</b>	-	<b>-182.561</b>	<b>-183.653</b>	<b>-184.866</b>	<b>-186.212</b>	<b>-187.706</b>	<b>-189.365</b>	<b>-191.206</b>
Inversión	-324.490	-	-	-	-	-	-	-
Valor residual de los activos	-	-	-	-	-	-	-	-
IVA de la inversión	-61.653	-	-	-	-	-	-	-
Recuperación IVA de la inversión	-	61.653	-	-	-	-	-	-
Capital de trabajo	-7.695	-	-	-	-	-	-	-
Recuperación de capital de trabajo	-	-	-	-	-	-	-	-
Préstamo	166.092	-	-	-	-	-	-	-
Amortizaciones	-	-9.933	-11.025	-12.238	-13.584	-15.078	-16.737	-18.578
<b>Flujo de capitales</b>	<b>-227.746</b>	<b>51.721</b>	<b>-11.025</b>	<b>-12.238</b>	<b>-13.584</b>	<b>-15.078</b>	<b>-16.737</b>	<b>-18.578</b>
<b>Flujo de caja</b>	<b>-227.746</b>	<b>-130.840</b>	<b>-194.678</b>	<b>-197.104</b>	<b>-199.796</b>	<b>-202.785</b>	<b>-206.102</b>	<b>-209.784</b>

**Tabla 51: Flujo de caja del proyecto con financiamiento del 50% de la inversión inicial, entre el año 8 y el 15, en [USD].**

	<b>Año 8</b>	<b>Año 9</b>	<b>Año 10</b>	<b>Año 11</b>	<b>Año 12</b>	<b>Año 13</b>	<b>Año 14</b>	<b>Año 15</b>
Ingresos por ventas	34.363	34.363	34.363	34.363	34.363	34.363	34.363	34.363
Intereses	7.581	5.313	2.795	-	-	-	-	-
Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-
Costos fijos	-142.734	-142.734	-142.734	-142.734	-142.734	-142.734	-142.734	-142.734
Costos variables	-92.336	-92.336	-92.336	-92.336	-92.336	-92.336	-92.336	-92.336
Costos indirectos	-124	-124	-124	-124	-124	-124	-124	-124
Depreciaciones	-71.136	-71.136	-71.136	-71.136	-71.136	-71.136	-71.136	-71.136
Pérdidas del ejercicio anterior	-1.803.521	-2.067.907	-2.334.561	-2.603.733	-2.875.700	-3.147.666	-3.419.633	-3.691.600
Utilidades antes de impuestos	-2.067.907	-2.334.561	-2.603.733	-2.875.700	-3.147.666	-3.419.633	-3.691.600	-3.963.567
Impuesto de primera categoría	-	-	-	-	-	-	-	-
Utilidades después de impuestos	-2.164.100	-2.442.778	-2.723.974	-3.007.964	-3.291.955	-3.575.946	-3.859.937	-4.143.928
Depreciaciones	71.136	71.136	71.136	71.136	71.136	71.136	71.136	71.136
Pérdidas del ejercicio anterior	1.803.521	2.067.907	2.334.561	2.603.733	2.875.700	3.147.666	3.419.633	3.691.600
Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Flujo operacional</b>	<b>-193.250</b>	<b>-195.518</b>	<b>-198.036</b>	<b>-200.831</b>	<b>-200.831</b>	<b>-200.831</b>	<b>-200.831</b>	<b>-200.831</b>
Inversión	-	-	-	-	-	-	-	-
Valor residual de los activos	-	-	-	-	-	-	-	-
IVA de la inversión	-	-	-	-	-	-	-	-
Recuperación IVA de la inversión	-	-	-	-	-	-	-	-
Capital de trabajo	-	-	-	-	-	-	-	-
Recuperación de capital de trabajo	-	-	-	-	-	-	-	7.695
Préstamo	-	-	-	-	-	-	-	-
Amortizaciones	-20.622	-22.890	-25.408	-	-	-	-	-
<b>Flujo de capitales</b>	<b>-20.622</b>	<b>-22.890</b>	<b>-25.408</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>7.695</b>

<b>Flujo de caja</b>	<b>-213.871</b>	<b>-218.408</b>	<b>-223.444</b>	<b>-200.831</b>	<b>-200.831</b>	<b>-200.831</b>	<b>-200.831</b>	<b>-193.136</b>
----------------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

A partir del flujo de caja, empleando una tasa de descuento del 15%, se determinó que el VAN del proyecto es de -1.177.427 [USD].

- Flujo de caja con financiamiento del 100% de la inversión inicial:

**Tabla 52: Flujo de caja del proyecto con financiamiento del 100% de la inversión inicial, entre el año 0 y el 7, en [USD].**

	<b>Año 0</b>	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>	<b>Año 6</b>	<b>Año 7</b>
Ingresos por ventas	-	34.363	34.363	34.363	34.363	34.363	34.363	34.363
Intereses	-	36.540	34.355	31.930	29.237	26.249	22.932	19.249
Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-
Costos fijos	-	-142.734	-142.734	-142.734	-142.734	-142.734	-142.734	-142.734
Costos variables	-	-92.336	-92.336	-92.336	-92.336	-92.336	-92.336	-92.336
Costos indirectos	-	-124	-124	-124	-124	-124	-124	-124
Depreciaciones	-	-71.136	-71.136	-71.136	-71.136	-71.136	-71.136	-71.136
Pérdidas del ejercicio anterior	-	-	-235.426	-472.791	-712.828	-955.310	-1.201.028	-1.449.816
Utilidades antes de impuestos	-	-235.426	-472.791	-712.828	-955.310	-1.201.028	-1.449.816	-1.702.534
Impuesto de primera categoría	-	-	-	-	-	-	-	-
Utilidades después de impuestos	-	-235.426	-472.791	-712.828	-955.310	-1.201.028	-1.449.816	-1.702.534
Depreciaciones	-	71.136	71.136	71.136	71.136	71.136	71.136	71.136
Pérdidas del ejercicio anterior	-	-	235.426	472.791	712.828	955.310	1.201.028	1.449.816
Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Flujo operacional</b>	<b>-</b>	<b>-164.290</b>	<b>-166.228</b>	<b>-168.901</b>	<b>-171.346</b>	<b>-174.582</b>	<b>-177.652</b>	<b>-181.581</b>

Inversión	-324.490	-	-	-	-	-	-	-
Valor residual de los activos	-	-	-	-	-	-	-	-
IVA de la inversión	-61.653	-	-	-	-	-	-	-
Recuperación IVA de la inversión	-	61.653	-	-	-	-	-	-
Capital de trabajo	-7.695	-	-	-	-	-	-	-
Recuperación de capital de trabajo	-	-	-	-	-	-	-	-
Préstamo	332.185	-	-	-	-	-	-	-
Amortizaciones	-	-19.865	-22.050	-22.050	-27.168	-30.157	-33.474	-37.156
Flujo de capitales	-61.653	41.788	-22.050	-22.050	-27.168	-30.157	-33.474	-37.156
<b>Flujo de caja</b>	<b>- 61.653</b>	<b>-122.502</b>	<b>-188.526</b>	<b>-190.951</b>	<b>-198.762</b>	<b>-204.739</b>	<b>-211.373</b>	<b>-218.737</b>

**Tabla 53: Flujo de caja del proyecto con financiamiento del 100% de la inversión inicial, entre el año 8 y el 15, en [USD].**

	<b>Año 8</b>	<b>Año 9</b>	<b>Año 10</b>	<b>Año 11</b>	<b>Año 12</b>	<b>Año 13</b>	<b>Año 14</b>	<b>Año 15</b>
Ingresos por ventas	34.363	34.363	34.363	34.363	34.363	34.363	34.363	34.363
Intereses	15.162	10.626	5.590	-	-	-	-	-
Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-
Costos fijos	-142.734	-142.734	-142.734	-142.734	-142.734	-142.734	-142.734	-142.734
Costos variables	-92.336	-92.336	-92.336	-92.336	-92.336	-92.336	-92.336	-92.336
Costos indirectos	-124	-124	-124	-124	-124	-124	-124	-124
Depreciaciones	-71.136	-71.136	-71.136	-71.136	-71.136	-71.136	-71.136	-71.136
Pérdidas del ejercicio anterior	-1.702.534	-1.959.091	-2.220.432	-2.486.562	-2.758.529	-3.030.249	-3.302.216	-3.573.935
Utilidades antes de impuestos	-2.486.562	-2.758.529	-3.030.249	-3.302.216	-3.573.935	-3.845.902	-2.486.562	-2.758.529
Impuesto de primera categoría	-	-	-	-	-	-	-	-
Utilidades después de impuestos	-2.486.562	-2.758.529	-3.030.249	-3.302.216	-3.573.935	-3.845.902	-2.486.562	-2.758.529
Depreciaciones	71.136	71.136	71.136	71.136	71.136	71.136	71.136	71.136

Pérdidas del ejercicio anterior	1.702.534	1.959.091	2.220.432	2.486.562	2.758.529	3.030.249	3.302.216	3.573.935
Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-
Flujo operacional	-185.421	-190.205	-194.994	-200.831	-200.584	-200.831	-200.584	-200.831
Inversión	-	-	-	-	-	-	-	-
Valor residual de los activos	-	-	-	-	-	-	-	-
IVA de la inversión	-	-	-	-	-	-	-	-
Recuperación IVA de la inversión	-	-	-	-	-	-	-	-
Capital de trabajo	-	-	-	-	-	-	-	-
Recuperación de capital de trabajo	-	-	-	-	-	-	-	7.695
Préstamo	-	-	-	-	-	-	-	-
Amortizaciones	-41.243	-45.780	-50.816	-	-	-	-	-
Flujo de capitales	-41.243	-45.780	-50.816	-	-	-	-	7.695
<b>Flujo de caja</b>	<b>-226.912</b>	<b>-235.985</b>	<b>-246.057</b>	<b>-200.831</b>	<b>-200.831</b>	<b>-200.831</b>	<b>-200.831</b>	<b>-193.136</b>

A partir del flujo de caja, empleando una tasa de descuento del 15%, se determinó que el VAN del proyecto es de -1.037.283 [USD].