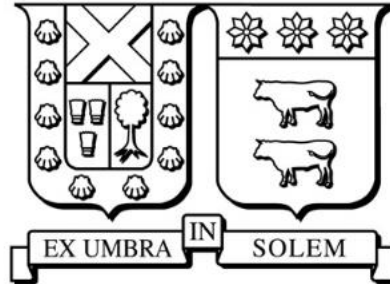


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA  
INGENIERÍA EN DISEÑO DE PRODUCTOS  
[SANTIAGO] – CHILE



ESTUDIO DE MÉTODO PARA LA TRANSFORMACIÓN DE RESIDUOS DE ENVASES DE  
POLIPROPILENO A INSUMO PARA IMPRESIÓN 3D.

Luciano Andrés Roque Vidal  
MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO EN DISEÑO DE  
PRODUCTOS  
PROFESORA GUÍA - Melissa Pozatti PROFESOR CORREFERENTE - VÍCTOR URRUTIA  
JUNIO – 2025



## CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

### 1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción):  Memoria o trabajo de título;  Tesis de Postgrado;

Título del trabajo: ESTUDIO DE MÉTODO PARA LA TRANSFORMACIÓN DE RESIDUOS DE ENVASES DE POLIPROPILENO EN INSUMO PARA IMPRESIÓN 3D.

Nombre del candidato(a): Luciano Andrés Roque Vidal

Carrera / Grado: Ingeniería en Diseño de Productos

Campus: Santiago San Joaquín; Departamento: Ingeniería en Diseño

### 2.-VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Melissa Pozatti, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución

### 3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL

El trabajo **NO** contiene información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

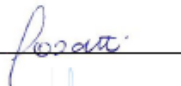
El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (embargo) por:

6 meses;  12 meses;  2 años;  3 años;  5 años;  10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

### 4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 17/06/2025 ; Firma: 

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 17/06/2025 ; Firma: 

*Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.*

## AGRADECIMIENTOS

Esta investigación está dedicada a todas las personas que han contribuido a mi progreso académico. Representa la culminación de los aprendizajes y habilidades adquiridas a lo largo de mi trayectoria universitaria.

Expreso mi más profundo agradecimiento a los docentes del departamento de Diseño por su incesante ayuda en la maximización de mi desempeño, sin importar si las circunstancias eran adversas o favorables. Asimismo, agradezco a mis compañeros de estudios y amigos por su apoyo incondicional y la felicidad compartida. Mi sincero reconocimiento a mi familia por ser mi bastión en todo momento, especialmente a mis padres por respaldar mi elección de cursar la carrera de Ingeniería en Diseño de Productos.

Es digno de mencionar la destacada labor desempeñada por Melissa Pozatti como profesora guía, quien ha brindado un apoyo fundamental para la adecuada realización de este trabajo. Tanto su enseñanza como su dedicación por la labor desarrollada en colaboración han sido invaluable. Se destaca como una docente excepcional, una entre un millón, y ha sido una de las mejores decisiones que he tomado el colaborar bajo su dirección para la elaboración de esta memoria. También destacar la labor del Profesor Víctor Urrutia quien es parte del equipo de docencia de mi carrera quien ha

actuado como profesor correferente para esta memoria y cuyas contribuciones y apoyo beneficiaron mucho esta investigación y solución desarrollada.

También se destaca la labor de los profesores e iniciativas estudiantiles que me brindaron su apoyo durante el desarrollo del presente trabajo experimental. Expreso mi profunda gratitud hacia los docentes del departamento de Ingeniería Mecánica, Hugo Orellana y Sheila Lazcano, así como al Capitán de Tecnoplast USM, Vicente Díaz, del Fab Lab.

Finalmente, deseo expresar mi agradecimiento a la respetable Universidad Técnica Federico Santa María por brindarme la oportunidad de adquirir conocimientos y habilidades tanto teóricas como prácticas, que contribuirán a mi desarrollo como profesional íntegro y destacado en adelante.

## RESUMEN

En este trabajo de grado en Ingeniería en Diseño de Productos, se expone un estudio detallado sobre el reciclaje y la conversión de plástico a recurso para la impresión en 3D.

Primero, se llevó a cabo un análisis de la bibliografía vinculada al polipropileno, la polución de plásticos de uso único y la producción aditiva.

Mediante métodos tanto teóricos como prácticos, se investigaron diversas estrategias y técnicas para tratar el reciclaje de los recipientes de polipropileno de un solo uso para la impresión en 3D.

Luego, se desarrolló un procedimiento/servicio para reciclar dicho desecho plástico. Ello implicó recoger residuos en el campus, separarlos por paquetes y, posteriormente, exponerlo a tratamiento térmico y extrusión, para obtener filamento. Los hallazgos logrados demostraron la posibilidad de crear filamento a partir de envases de polipropileno reciclado en el campus.

Palabras clave: Manufactura aditiva, polipropileno, impresión 3d, reciclaje.

## ABSTRACT

In this undergraduate work in Product Design Engineering, a detailed study on the recycling and conversion of plastic to resource for 3D printing is presented.

First, a literature review was conducted on polypropylene, single-use plastic pollution and additive production.

Using both theoretical and practical methods, various strategies and techniques were investigated to address the recycling of single-use polypropylene containers for 3D printing.

Then, a procedure/service was developed to recycle such plastic waste. This involved collecting waste on campus, separating it by packages, and then exposing it to heat treatment and extrusion to obtain filaments. The findings demonstrated the possibility of creating filaments from recycled polypropylene containers on campus.

Keywords: Additive manufacturing, polypropylene, 3d printing, recycling.

## GLOSARIO

A continuación, se presenta un glosario de términos utilizados en este trabajo de titulación, con el objetivo de proporcionar claridad y comprensión a los lectores:

1. Polipropileno (PP): Polímero termoplástico ampliamente utilizado en envases y productos de plástico. Es conocido por su resistencia al calor y durabilidad, lo que lo convierte en un material común en envases de alimentos y productos industriales.

2. Fabricación aditiva: proceso de fabricación en el que se crean objetos capa por capa a partir de un modelo digital, también conocida como impresión 3D.

3. Filamento 3D: material lineal utilizado para crear objetos en impresoras 3D. En este caso, se trata de filamento elaborado a partir de polipropileno reciclado.

4. Economía Circular: Modelo de producción y consumo que implica compartir, reutilizar, reparar, renovar y reutilizar materiales y productos existentes durante el mayor tiempo posible, extendiendo el ciclo de vida de los productos. Extrusión: proceso de fabricación que implica forzar un material a través de un molde o troquel para darle una forma continua, similar a la formación de filamentos para la impresión 3D.

5. FDM (Modelado por deposición fusionada): tecnología de impresión 3D que utiliza filamentos termoplásticos para fundir y depositar capa por capa para crear objetos tridimensionales. Reciclaje: el proceso de recolectar, clasificar y procesar materiales usados para convertirlos en nuevos productos.

6. Prensado en caliente: técnica de procesamiento que utiliza presión y calor para formar materiales plásticos como láminas o filamentos. Termoplástico: Polímero que se puede moldear cuando se calienta, se enfría, se endurece y se puede reutilizar en el proceso de fabricación.

7. Propiedades mecánicas: características que describen el comportamiento de un material bajo la influencia de fuerzas externas, como resistencia, flexibilidad y dureza.

8. Propiedades térmicas: propiedades que describen cómo responde un material a la temperatura, incluido el punto de fusión, la conductividad térmica y la resistencia al calor.

9. Creación de prototipos: creación de un modelo o una versión inicial de un producto para evaluar y mejorar sus características antes de la producción final.

## ÍNDICE

<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>2</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>4</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>4</b>
<b>GLOSARIO.....</b>	<b>6</b>
<b>ÍNDICE.....</b>	<b>8</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>8</b>
1.1 Contexto.....	9
1.2 Objetivos.....	12
<b>2 METODOLOGÍA.....</b>	<b>14</b>
<b>3 RESULTADOS.....</b>	<b>18</b>
3.1 Descubrimiento.....	18
3.2 Definición.....	22
3.3 Desarrollo.....	22
3.4 Entregar.....	34
<b>4 CONCLUSIONES.....</b>	<b>35</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>37</b>
<b>ANEXO A – [Entrevistas y testimonios]..</b>	<b>40</b>
<b>ANEXO B – [Certificado de retiro de reciclaje].....</b>	<b>43</b>
<b>ANEXO C – [Instrumentos usados en las fases de experimentación].....</b>	<b>44</b>
<b>ANEXO D – [Instrumentos usados en las fases de experimentación].....</b>	<b>45</b>

# 1 INTRODUCCIÓN

En el contexto actual de crisis ambiental, los residuos plásticos de un solo uso representan una de las principales amenazas a la sostenibilidad de los ecosistemas urbanos. Dentro de este espectro, los envases flexibles compuestos por polipropileno (PP) —como los utilizados en snacks y barras de cereal— presentan desafíos particulares en su reciclaje debido a su bajo peso, mezcla de materiales y escaso valor económico para sistemas convencionales de valorización (OECD, 2022; Lindwall, 2024).

El rol del diseño en este escenario es clave: se requiere no solo rediseñar productos para facilitar su reciclabilidad, sino también desarrollar procesos que permitan la transformación de estos residuos en insumos funcionales para nuevas aplicaciones. En este marco, la manufactura aditiva (o impresión 3D) surge como una tecnología con alto potencial para vincular reciclaje y producción de bajo volumen en entornos locales, como universidades o laboratorios de prototipado

Esta investigación se enmarca como un estudio aplicado, orientado al desarrollo de un método experimental para transformar residuos de envases del PP, generados en el Campus Universitario de San Joaquín, en insumos viables para impresión 3D mediante procesos térmicos iterativos, incluyendo prensado y trefilación controlada. A través de

ciclos iterativos de prueba y error, se busca establecer criterios de transformación reproducibles que permitan escalar la iniciativa hacia modelos de economía circular en contextos de baja infraestructura Ford & Despeisse, 2016; Kreiger & Pearce, 2013).

## 1.1 Contexto

La acumulación de residuos sólidos urbanos se ha convertido en uno de los problemas ambientales más apremiantes de los últimos años. Según el Banco Mundial (Banco Mundial, 2018). La creciente producción de desechos está provocando una crisis de gestión que afecta tanto a los países desarrollados como a los que están en vías de desarrollo. En este contexto, los plásticos de un solo uso —especialmente los que se utilizan en empaques de alimentos y botellas— se han señalado como una de las principales fuentes de contaminación, debido a su corta vida útil y a la escasa valorización que reciben después (Lindwall, 2024). El impacto global del consumo de plásticos ha sido ampliamente documentado. La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD) informa que el consumo mundial de plásticos se ha cuadruplicado en los últimos 30 años,

alcanzando los 460 millones de toneladas en 2019(OECD, 2022).

Sin embargo, este aumento no ha sido acompañado por sistemas de gestión adecuados: solo un 9% de los residuos plásticos se reciclan, mientras que el resto se incinera (19%), se envía a vertederos (50%) o se pierde fuera de los sistemas de manejo, terminando a menudo en cuerpos de agua o siendo quemado al aire libre. (OECD,2022)

En América Latina, la situación es bastante desalentadora, Según datos de la Alianza Global para Alternativas a la Incineración (GAIA), Chile y México están a la cabeza en la generación de residuos plásticos en la región, con un consumo promedio que supera los 50 kilogramos por persona al año. Les siguen Argentina y Brasil, con cifras que rondan los 40 kg por habitante al año (Bianco et al., 2021) Estos números reflejan una cultura de consumo intensivo, aunque las estrategias para gestionar lo que se consume aún están en sus primeras etapas. En el caso de Chile, la situación tiene sus particularidades. Según el informe de la Asociación Gremial de Industriales del Plástico (ASIPLA), en 2022 se consumieron alrededor de 1,5 millones de toneladas de productos plásticos, de los cuales solo un 7,8% —es decir, 106.870 toneladas— fue

realmente reciclado. Esta baja tasa se debe a varios factores tanto estructurales como operativos.(ASIPLA, 2023),como:

1. Falta de infraestructura descentralizada: El 75% de las empresas recicladoras están concentradas en la zona centro del país, dejando grandes regiones del norte y sur con opciones limitadas para el reciclaje.
2. Recolección ineficiente: Predomina el reciclaje de plásticos industriales, mientras que los residuos domiciliarios son menos reciclados por la falta de sistemas adecuados de recolección.
3. Resinas difíciles de reciclar: Materiales como PVC o poliestireno, comunes en envases, tienen tasas de reciclaje más bajas debido a su dificultad técnica para ser procesados. (Creatividad Positiva,2023)

El bajo reciclaje contribuye a problemas como:

1. Contaminación ambiental: Gran parte del plástico no reciclado termina en vertederos o como desecho en ecosistemas naturales, afectando la biodiversidad y contaminando el agua y el suelo

2. Desperdicio de recursos: Se pierden oportunidades económicas asociadas al reaprovechamiento del plástico como materia prima.
3. Impacto en el cambio climático: La producción de plásticos vierte grandes cantidades de CO<sub>2</sub>, y al no reciclarlos, se perpetúa la dependencia de materiales vírgenes y procesos contaminantes. (Piensa Circular, 2024) y (Creatividad Positiva,2023)

Ante esto, lo anteriormente expuesto la mejor opción es plantear la transición hacia un mayor reciclaje, puesto que es esencial para:

1. Reducir el impacto ambiental y cumplir con objetivos internacionales de sostenibilidad.
2. Mejorar la economía circular, reutilizando recursos y disminuyendo la dependencia de materiales nuevos.
3. Prepararse para normativas más estrictas, como la Ley REP (Responsabilidad Extendida del Productor), que exige metas de valorización para envases y embalajes

Para mejorar la tasa de reciclaje, se plantean varias acciones, como:

1. Descentralizar la infraestructura: Invertir en plantas de reciclaje en regiones más apartadas.
2. Fomentar la educación y conciencia: Implementar campañas educativas para ciudadanos y empresas.
3. Desarrollar tecnología: Mejorar procesos para reciclar plásticos difíciles como PVC o poliestireno.
4. Implementar recolección eficiente: Ampliar los sistemas de recolección domiciliaria y fortalecer los puntos limpios.
5. Cumplir con la Ley REP: Asegurar que los productores y distribuidores de envases cumplan con metas claras de reciclaje.

Debido a esto, es necesario orientar las acciones hacia una economía o método de mercado que disminuya el impacto de los desechos plásticos. Estas acciones deben estar acorde con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU y sus acuerdos internacionales para la sostenibilidad.

De acuerdo con estudios realizados por, Krieger & Pearce (2013) y Dulcey y Murillo (2022), una opción prometedora para abordar el problema de los residuos plásticos es el reciclaje distribuido mediante la manufactura aditiva. Este enfoque posibilita la utilización de

materiales reciclados a nivel local para la fabricación de nuevos artículos, reduciendo la dependencia de insumos orgánicos y disminuyendo el impacto ambiental asociado al transporte y la producción centralizada. La manufactura aditiva, que consiste en la fabricación de capa por capa mediante un modelo digital, brinda una alternativa eficaz para reutilizar desechos plásticos, transformándolos en filamentos para impresión 3D, eficientes y accesibles.

Actualmente, el 51 % de los productos fabricados con el sistema de manufacturado aditivo son filamentos hechos a base de polímero-plásticos. Gracias a esto, ayuda a que los procesos FDM (*Fused Deposition Modeling*) para la fabricación de productos, sean más manejables y óptimos (Bañegil & Sainz, 2022).

Los polímeros más utilizados en esta técnica son el ácido poliláctico (PLA) y el acrilonitrilo butadieno estireno (ABS). Además, otros materiales como el polipropileno (PP) también empezaron a estudiarse para su desarrollo, ya que es uno de los plásticos más comunes en la vida civil promedio. (Martínez et al., 2023).

En el campus San Joaquín de la Universidad Técnica Federico Santa María, en que posee 4.026 estudiantes diurnos, por ende, se ha

observado que a diario se generan una cantidad de desechos plásticos de un solo uso. La impresión 3D se ha convertido en una herramienta clave en diversas carreras de la Universidad Técnica Federico Santa María, como Ingeniería en Diseño de Productos, Ingeniería Mecánica y Arquitectura. Se utiliza principalmente para el prototipado y el desarrollo de soluciones innovadoras. Para facilitar esto, la universidad dispone de espacios como el Laboratorio IDP, el Laboratorio de Mecánica y el Fab Lab UTFSM, todos equipados con impresoras 3D y herramientas de manufactura digital. Esto permite a los estudiantes experimentar con una variedad de materiales, incluyendo ahora insumos reciclados. A partir de esta observación, se identificó la oportunidad de utilizar estos desechos para explorar la viabilidad de este como un posible insumo para convertirlo en filamento, utilizando para ello las propias impresiones y prototipado de los laboratorios de la universidad.

## 1.2 Objetivos

Con base en la información plasmada en el contexto de esta memoria, se han propuesto metas y objetivos a desarrollar y cumplir a lo largo del segundo semestre del 2024 y del primer semestre 2025, los cuales son:

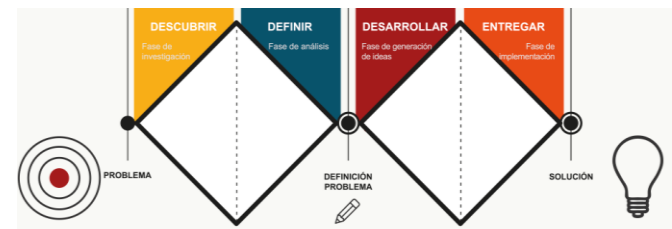
Objetivo general: Desarrollar método para la transformación de residuos de envases de polipropileno en insumo para impresión 3D.

- Objetivo específico 1: Identificar y recolectar los residuos plásticos de un solo uso generados en el Campus San Joaquín.
- Objetivo específico 2: Experimentar con distintos procesos de preparación del residuo para posibilitar su posterior trefilación.
- Objetivo específico 3: Generar Insumo mediante trefilación, analizando distintas configuraciones del proceso.

## 2 METODOLOGÍA

Para guiar el desarrollo de este trabajo, se eligió el modelo del Doble Diamante como marco metodológico, propuesto por el Design Council del Reino Unido en 2005. Este modelo se compone de cuatro fases clave: descubrimiento, definición, desarrollo y entrega. Estas etapas ayudan a estructurar el proceso de diseño a través de ciclos de divergencia y convergencia. La elección de este modelo se justifica por su habilidad para abordar problemas complejos de manera progresiva y adaptable, lo que facilita la exploración del contexto, la identificación de oportunidades de intervención y la validación iterativa de soluciones. En el contexto de esta investigación, el modelo permitió organizar de forma sistemática los desafíos relacionados con el reciclaje de envases de polipropileno de un solo uso, integrando observaciones empíricas, pruebas experimentales y decisiones de diseño con los recursos disponibles en el entorno universitario.

**Figura 1**  
*Esquema del doble diamante (Francisco Torreblanca, España)*



A continuación, se describirán los procedimientos y las actividades llevadas a cabo en el presente trabajo en cada una de las etapas.

### **Fase 1: Descubrimiento**

Esta fase tuvo como objetivo poner en contexto el problema tanto a nivel global como local, además de caracterizar de manera empírica los residuos plásticos generados en el campus.

Para comenzar, se llevó a cabo una revisión bibliográfica sobre las dificultades técnicas del reciclaje de polipropileno, resaltando su baja densidad, estructura flexible y escaso valor comercial. Se incluyeron estadísticas que muestran que solo el 9% de los plásticos producidos en el mundo son reciclados, y en Chile, esa cifra apenas llega al 8% (ver bibliografía).

Luego, se realizó trabajo de campo a través de entrevistas semiestructuradas con actores clave: Ricardo Arriagada (personal de aseo) y Brígida Arias (administradora del campus), con el propósito de identificar las zonas críticas de descarte y la frecuencia de acumulación de envases. Siguiendo sus recomendaciones, se instaló un contenedor exclusivo para residuos de polipropileno en un lugar estratégico del campus, con la debida

autorización de la administración, el cual se proporcionado de manera personal por el autor de esta memoria. El material recolectado fue clasificado manualmente, priorizando envases de snacks, barras de cereal y productos similares. (Entrevista completa en anexo A)

Además, se llevó a cabo una visita técnica al laboratorio Eco Fab Lab UTFSM (Casa Central), donde se entrevistó a su coordinador, el ingeniero Udo Reinschmidt, quien compartió sus experiencias sobre el reciclaje de polímeros, las condiciones térmicas de extrusión y las principales limitaciones al trabajar con plásticos flexibles en entornos de bajo presupuesto. También se inició una colaboración con TecnoPlast USM, a través del estudiante Vicente Díaz, quienes aportaron conocimientos prácticos en la producción de filamento reciclado.

### **Instrumentos utilizados:**

- Guiones de entrevista.
- Hojas de registro clasificatorio, facilitadas por Brígida Arias.
- Contenedor de basura acopiado.

### **Participantes clave:**

- Personal de aseo, Ricardo Arriagada.

- Administración del campus San Joaquín, Brígida Arias.
- Equipo TecnoPlast USM, Vicente Díaz.
- Coordinador del Eco Fab Lab, Udo Reinschmidt.

## **Fase 2: Definición**

Objetivo específico 2: Experimentar con distintos procesos de preparación del residuo para posibilitar su posterior trefilación.

En esta etapa se consolidó la información recopilada en terreno y se trazó una estrategia técnica viable para la transformación del residuo plástico. Se identificó que los envases de polipropileno flexible eran frecuentes en el campus; sin embargo, su estructura multicapa y la presencia ocasional de aluminio dificultaban su tratamiento mediante métodos de reciclaje mecánico convencionales. Frente a esta limitación, se optó por un enfoque térmico de bajo costo, basado en procesos de prensado y laminado.

A partir de ello, se diseñó un prototipo inicial del proceso, estructurado en tres fases: (1) limpieza y corte del material recolectado; (2) fusión mediante prensado térmico controlado; y (3) conformado de huinchas destinadas a su

posterior trefilación. Este procedimiento fue concebido para ejecutarse íntegramente con los recursos e infraestructura disponibles en el entorno universitario, tales como el horno basculante, la prensa hidráulica y la extrusora tipo filabot. Con esta definición metodológica, se establecieron los primeros parámetros técnicos a considerar durante las pruebas experimentales, incluyendo la uniformidad del espesor, la dureza del material, su flexibilidad estructural y la continuidad del filamento obtenido. Este modelo experimental sirvió como base para dar paso a la fase de desarrollo.

### Participante:

Colaborador de Tecnoplast USM, Vicente Díaz.

Como resultado de esta etapa se establecieron los parámetros iniciales para evaluar la calidad del filamento, como su consistencia, capacidad de extrusión, densidad, grosor, dureza, etc.

## **Fase 3: Desarrollo**

Objetivo específico 3: Generar insumo mediante trefilación, analizando distintas configuraciones del proceso.

Durante esta etapa, se llevaron a cabo pruebas experimentales con el propósito de

validar el método previamente definido. Se ensayaron distintas combinaciones de temperatura y presión para transformar las huinchas de polipropileno reciclado en filamento utilizable en procesos de impresión 3D mediante tecnología FDM. Se exploraron diversos procedimientos, entre ellos: prensado en caliente utilizando papel mantequilla, horneado entre placas metálicas y ladrillos refractarios, uso de horno basculante con control manual del tiempo de exposición, y un tratamiento posterior mediante prensa hidráulica.

Las muestras obtenidas fueron introducidas en una extrusora equipada con boquilla de 1.75 mm, donde se evaluó su comportamiento en condiciones de trefilación manual. A lo largo de estas pruebas, se identificaron una serie de dificultades técnicas que comprometieron la continuidad y calidad del filamento, tales como torsión del material durante el enfriamiento, fracturas internas y sensibilidad a presiones no uniformes. Estos hallazgos fueron debidamente registrados como insumos para ajustes futuros en el proceso de fabricación.

#### Participantes:

Técnicos del laboratorio de metalmecánica, Hugo Orellana y colaboradores del Fab Lab Vicente Díaz.

#### Herramientas:

Horno basculante, prensa hidráulica, extrusora y papel mantequilla para estabilizar el material, sopletes y planchas de cobre repujados además de ladrillos refractantes.

#### **Fase 4: Entrega**

La última fase se centró en validar técnicamente el filamento producido y en asegurar que el proceso sea replicable. Se consideraron ajustes en los parámetros de trefilación, como la temperatura, la presión, la velocidad de extrusión y el sistema de guiado, con el fin de estabilizar el diámetro del filamento y evitar defectos físicos recurrentes, como torsiones o burbujas internas. Una vez que se logró la estabilidad dimensional del material, se planificaron pruebas piloto de impresión en impresoras FDM, utilizando piezas de geometría simple para evaluar aspectos clave como la fluidez del filamento, la adherencia entre capas y la calidad de resolución de las impresiones. Al mismo tiempo, se documentó todo el proceso experimental de manera detallada, con el objetivo de crear una guía metodológica que pueda ser útil para futuros estudiantes o que se pueda replicar en iniciativas similares dentro del ámbito universitario.

#### Participantes:

Colaboradores del Fab Lab y supervisores técnicos.

Resultados esperados:

Obtener filamento funcional, verificar su uso en impresión real y dejar trazabilidad del proceso como referencia técnica para futuras investigaciones.

## 3 RESULTADOS

### 3.1 Descubrimiento

Como parte de la metodología, se llevó a cabo una revisión bibliográfica con el propósito de comprender los desafíos técnicos y ambientales asociados al reciclaje de plásticos, centrándose específicamente en el polipropileno (PP) y su aplicación en la manufactura aditiva.

Durante este análisis, se identificó que en Chile se generan anualmente 19,6 millones de toneladas de residuos, pero solo el 8 % corresponde a plásticos reciclados (Ministerio del Medio Ambiente de Chile, 2020). Aunque iniciativas como la Ley de Responsabilidad Extendida del Productor (Ley REP) han incrementado la capacidad de reciclaje en un 19 % desde 2020, el país sigue enfrentando importantes desafíos relacionados con infraestructura y educación (País Circular, 2024). Estos datos refuerzan la necesidad de soluciones locales para manejar plásticos de un solo uso.

El polipropileno, ampliamente utilizado por su resistencia mecánica y química, también presenta retos significativos para su reciclaje y uso en impresión 3D. Entre las propiedades técnicas más relevantes que influyen en su comportamiento se destacan:

Resistencia a la tracción: Entre 31 y 42 MPa, adecuada para soportar fuerzas moderadas (Bhandari & Ramakrishna, 2020).

Temperatura de degradación: Superior a 270 °C, lo que lo hace estable en procesos térmicos (Rupp & Lindemann, 2018).

Resistencia química: Altamente resistente frente a álcalis, ácidos y humedad, lo que lo convierte en un material versátil en entornos exigentes (Rupp & Lindemann, 2018).

Baja densidad: Permite producir piezas ligeras, aunque esto puede dificultar su manejo en algunos procesos industriales (Khatri et al., 2018).

Los resultados de las entrevistas a él personal de Aseo y Administradora del Campus (Anexo A) evidenciaron que gran parte de la comunidad universitaria no tiene prácticas efectivas de reciclaje, lo que contribuye a una gestión deficiente de los residuos plásticos generados, aun cuando se disponen de contenedores identificados para ello, tal como se aprecia en la figura 2.

**Figura 2**  
*Contenedores para el reciclaje de los desechos*



Asimismo, se identificaron las zonas críticas del campus donde se recoge la mayor cantidad de basura, destacándose las “mesas verdes” (ubicadas en el área de almuerzo) y la zona conocida como “el cerrito”. En estas áreas, los residuos más frecuentes fueron: botellas plásticas, latas y envases de snacks de plástico.

A pesar de la existencia de espacios acondicionados con contenedores para la separación de residuos en plástico, latas y

cartón (figura 2), la mayor parte de los desechos termina en los basureros genéricos. Esta mala práctica obstaculiza tanto la clasificación como el posterior reciclaje de los materiales, dificultando el aprovechamiento de estas materias primas.

De la entrevista realizada a la coordinadora del campus San Joaquín, se conoció que la universidad mantiene un convenio con la comuna para el reciclaje de los desechos generados. Este acuerdo responde, en gran medida, al hecho de que el servicio es gratuito.

También se conocieron los datos sobre la cantidad de kilogramos reciclados desde el inicio del año hasta la fecha (830 kg), así como los tipos de residuos que son más comúnmente recuperados en la universidad, tal como se evidencia en la tabla 1 y que constan en el certificado de retiro de reciclaje emitido por la municipalidad (Anexo B).

**Tabla 1**  
*Cantidad de desechos retirados por la municipalidad*

Material	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Total (kg)
PET	100	50	50	75	275
PAPEL	90	90	120	180	480
LATAS	30	15	15	15	75
<b>TOTAL:</b>	<b>220</b>	<b>155</b>	<b>185</b>	<b>270</b>	<b>830</b>

Otro aspecto relevante que emergió de la entrevista fue la identificación de la ausencia de un contenedor exclusivo para residuos plásticos de polipropileno, un material que, de existir dicho sistema de recolección, podría ser retirado y reciclado por la municipalidad. Además, resalta la necesidad de implementar una solución que sea económica y fácil de poner en marcha en el corto plazo. La entrevistada subraya que uno de los mayores obstáculos es la falta de conciencia por parte de la comunidad universitaria respecto a la importancia de separar correctamente los residuos.

Con el objetivo de identificar los envases plásticos más consumidos —y, por ende, desechados— por la comunidad universitaria, se entrevistó a los dueños de los quioscos ubicados en el campus. Los resultados revelaron que los productos más populares son los siguientes:

- **Quiosco 1:** Envases de galletas, Bon o Bon (chocolates), envases de papas fritas.
- **Quiosco 2:** Bon o Bon, galletas, Sahne Nuss.
- **Quiosco 3:** KitKat, galletas Tritón, galletas Costa.

Por otro lado, en la entrevista con el profesor a cargo del Eco Fab Lab, se dio a conocer que tanto él como su equipo de memoristas han logrado y diseñado un cabezal especial para fundir el plástico.

El docente enfatizó que el polipropileno, debido a sus propiedades de flexibilidad y densidad, presenta grandes desafíos a la hora de procesarlo, pues requiere mucho tiempo y los resultados obtenidos no siempre son óptimos en términos de calidad de filamento.

La fase de descubrimiento posibilitó la identificación de que los envases de snacks de polipropileno constituyen una porción significativa de los residuos plásticos generados en el campus. Asimismo, se corroboró que la comunidad universitaria no realiza una adecuada separación de estos desechos, lo que obstaculiza su valorización. Este análisis también confirmó la viabilidad de enfocar los esfuerzos en este tipo de plástico, dado su alta disponibilidad y su potencial de reciclaje a través de manufactura aditiva, estableciendo de este modo los cimientos para las etapas subsiguientes del proyecto.

### 3.2 Definición

A partir de la información recopilada, y debido al tiempo acotado del cual se dispuso para el desarrollo de esta memoria de título, se decide centrar los esfuerzos en los envases

de galletas de polipropileno como material plástico prioritario para la producción.

La elección de este tipo de envase se fundamenta en el hecho de que es uno de los residuos plásticos más generados en la universidad, y debido a la baja iniciativa por parte de la comunidad universitaria para su reciclaje o reutilización, su aprovechamiento representa una oportunidad significativa dentro del marco de esta investigación.

### 3.3 Desarrollo

Durante un periodo de dos semanas, desde que se obtuvo la autorización de la administradora del campus San Joaquín, se instaló un basurero exclusivo para recolectar el tipo de envase seleccionado. El material recolectado se separó de cualquier otro tipo de plástico que pudiera estar presente en el contenedor. Posteriormente, se limpiaron con el fin de eliminar residuos de alimentos u otros desechos adheridos.

Una vez recolectados y limpios los envases, se prepararon para ser transformados en un posible insumo para la manufactura aditiva, con distintos métodos que se presentan a continuación.

### Método 1: Planchado de los envases plásticos con capas de papel mantequilla

Para ello se utilizó una plancha para ropa marca Ursus Trotter (Anexo C), la cual se calentó a una temperatura de planchado de algodón (aproximadamente 200 °C). Seguidamente, se pasó la plancha entre el papel mantequilla y los envases de comida de polipropileno. En la tabla 2 se muestran los resultados obtenidos con este método.

**Tabla 2**  
*Resultados obtenidos al planchar el material plástico*

N° Prueba	Temperatura (°C)	Tiempo (s)	Dobleses	Resultado
1 (Tritón)	200	300	0	Se quema y compacta su tamaño hasta un mínimo.
2 (Frac)	200	180	2	Se queman los bordes y se endurece por completo.
3 (Oreo)	200	180	3	Se quema totalmente y queda inservible.
4 (Frac)	100	300	0	No se quema, ni se derrite. Se aplana, pero no se flexibiliza lo suficiente.
5 (Mezcla)	70	180	0	Se adhiere a la plancha dificultando su separación y limpieza, no

				puede ser utilizado.
6 (Frac)	200	10 por pasada. Total 18 pasadas	4	Conserva su forma y grosor previo a ser planchado, se calienta y flexibiliza, pero no del todo.

En la figura 3 se observa una muestra de los envoltorios plásticos planchados.

**Figura 3**  
*Envoltorios plásticos planchados*



Este método demostró ser ineficiente debido a que el material se encogía en tamaño de

manera irregular y no uniforme además de que se cristalizaba con demasiada rapidez por lo cual no podía moldearlo de la manera en que se necesitaba.

### **Método 2: Prensado en caliente de los envases con capas de papel mantequilla**

Para esta prueba, se utilizó una prensa tipo sándwich (modelo panini) como un método térmico alternativo para fundir envases de polipropileno (ver Anexo C). El objetivo fue evaluar cómo se comporta el material bajo condiciones de presión ligera y a una temperatura constante de hasta 180 °C, que es el máximo que puede alcanzar el equipo. En el primer ensayo, se apilaron verticalmente cuatro envases de polipropileno, intercalando papel mantequilla a ambos lados para evitar que se adhirieran a las superficies metálicas. La prensa se mantuvo encendida hasta que alcanzó su temperatura máxima. Después de dos minutos de exposición, se notó carbonización en la superficie del plástico, lo que indicó un sobrecalentamiento local y que no era viable mantener el contacto directo por períodos prolongados. En el segundo intento, se utilizó un solo envase que se plegó manualmente siete veces sobre sí mismo, reduciendo así la masa plástica. A los 30 segundos, no se observaron cambios visibles. Al pasar 60 segundos, el material comenzó a ablandarse progresivamente, permitiendo

cierta flexibilidad. Después de un minuto más, el plástico empezó a derretirse parcialmente, adhiriéndose al papel mantequilla, lo que complicó su manipulación posterior y afectó su limpieza como insumo. En un tercer ensayo, se repitió la técnica de pliegue múltiple, manteniendo el contacto térmico hasta obtener una forma parcialmente moldeada con contorno cuadrado, aunque la estructura seguía siendo rígida en algunas áreas internas y no se había fundido por completo. A pesar de ser una mejora respecto al primer método informal (sin presión controlada), esta alternativa presentó problemas recurrentes de estabilidad térmica. El material pasaba rápidamente de un estado semirrígido a uno sobrecalentado, cristalizándose o quemándose al aplicar temperaturas ligeramente superiores, lo que evidenció la necesidad de establecer un rango térmico más preciso y utilizar equipos que ofrezcan un mejor control de temperatura.

### **Método 3: Horneado de los envases plásticos en un horno eléctrico con capas de papel mantequilla y ladrillos refractarios**

Para ello se calentó el horno entre 160 – 180 [°C], luego se colocaron los envases plásticos en una bandeja envuelta en papel mantequilla y se dejaron en el horno con un ladrillo refractario encima durante 15 a 20 minutos (ver figura 4).

Como resultado, se obtuvo que el papel y el residuo plástico conservaron un tamaño aceptable, con una reducción aproximada del 10 % en comparación al tamaño original. El material conservó propiedades de flexibilidad, pero aun así era demasiado delgado. Se decide no dejarlo por más tiempo, para no correr el riesgo de quemarlo y dejarlo inservible.

En este experimento, el uso de ladrillos refractarios resulta beneficioso para reducir la deformación de la forma del paquete al ejercer presión sobre el material.

A pesar de esto el material no se flexibiliza lo suficiente pero tampoco se cristaliza de manera apresurada por lo cual se puede volver a tratar el envase plástico.

**Figura 4**

*Vista del material dentro del horno*



#### **Método 4: Prensado en caliente de los envases plásticos entre placas de cobre y ladrillos refractarios**

En este experimento se cortó por la mitad una tubería de cobre, se aplanó y moldeó en forma rectangular. Luego se calentó con un soplete a gas propano marca Praktus (ver Anexo C) [M-878] para calentar las placas de cobre hasta 600 °C las cuales reposaban sobre ladrillos refractarios, tal como se aprecia en la figura 8.

**Figura 5**

*Calentamiento de la placa de cobre*



Se colocó el plástico encima de una placa y se aplastó con la otra placa y ladrillo, ejerciendo presión hacia abajo para darle forma durante 60 segundos. Como resultado, se obtuvo que el plástico presentó una mayor flexibilidad y uniformidad en la textura, color y tamaño.

Se observó que la forma cuadrada es efectiva, pero para poder ser utilizada en la extrusora debe cumplir los siguientes parámetros: largo de 30 [cm] o 300 [mm] de largo y grosor de tira de 1,75 [mm]. Debido a esto, se realizaron placas de cobre con un largo mayor, sin embargo, se presentó dificultad para poder mantener la forma rectangular debido a que no teníamos las herramientas adecuadas para cortar de manera satisfactoria las placas de cobre puesto que este experimento se realizó en un contexto externo al laboratorio universitario

## **Método 5: Horneado de los envases plásticos en horno basculante**

En este experimento el cual se realizó en las dependencias de la universidad, específicamente en el laboratorio metalmecánico de ingeniería mecánica se utilizó un horno refractario y un vaso precipitado de borosilicato 3.3 de 300 ml marca Isolab (ver Anexo C). Se dejaron 7 gramos del material (ver figura 9) unos 120 segundos a 165 [°C] y se retiró rápidamente para aplastarlo entre 2 ladrillos refractarios, adoptando forma de medallón circular con un diámetro de 50 [mm].

**Figura 6**

*Pesaje del material*



En un segundo intento se dejó mayor cantidad de material plástico (22 g) a 180 [°C] por 2

minutos. Se observó que el material no se tornaba más flexible o moldeable, por lo que se incrementó la temperatura a 190 [°C]. Se retiró con guantes y se aplastó nuevamente entre ambos ladrillos. El resultado es un material ovalado con un grosor promedio de 5 mm y una longitud de 70 [mm]

Se observó que se requiere mayor presión para dejar el material del grosor necesario para ocupar la filamentadora del laboratorio, por lo que la presión de fuente humana y presión de torniquete no son suficientes.

### **Segunda iteración de prensado en caliente.**

Debido a que la filamentadora de 3D a emplear tiene un diámetro de boquilla de 1.75 [mm] Es necesario fabricar una huincha de 1.75 [mm] de espesor y 300 [mm] de largo para poder utilizar la maquinaria sin dañarla.

### **Figura 7**

*Huincha de plástico que la filamentadora utiliza.*



Para ello se realizó un experimento final que combinó los métodos 4 y 5 antes descritos. Esto con la intención de suavizar el plástico y aplastarlo con presión entre dos placas metálicas hasta alcanzar el grosor indicado.

En este experimento se utilizó un horno de Basculante electrónico propiedad del laboratorio makerspace USM a 185 [°C] durante 5 minutos y luego se comprimió en una prensa hidráulica ejerciendo una presión aproximada de 100 [mPa] durante 1 minuto. Con este método se realizaron las siguientes tres pruebas:

a) Con empaques de cereal bar 3 g.

### **Figura 8**

*Paquete de Cereal Bar*



b) Con empaques de kilombo 10 g.

### Figura 9

*Paquete Barra Kilombo.*



c) Con empaque de kilombo+ bonobon 10 g.

### Figura 10

*Paquete Bon o bon bombón.*

La prueba que arrojó mejores resultados fue la b, ya que el grosor obtenido fue de 1.75 [mm] En el resto de las pruebas las huinchas se produjeron residuos filamentosos finos porque no se fundieron de manera correcta.

El material que dio los mejores resultados se llevó a una guillotina con el fin de cortarlo en huinchas de distintos grosores y poder colocarlas en la filamentadora. La filamentadora se enciende y se calienta la boquilla primero a 230 [°C] y se empujó la huincha de polipropileno.

En este primer intento, se observó que la huincha es alta y se decidió partirla a la mitad para insertarla nuevamente, cuidando de limpiar la boquilla, ya que parte del polipropileno se tendía a atascar cerca de la salida del filamento.

Se subió la temperatura a 250 [°C] y se empujaron nuevamente huinchas de polipropileno para comprobar si bajo estos nuevos parámetros era viable el experimento.

Resultó factible, pero el filamento resultante fue muy corto y con tendencia a enroscarse, tal como se aprecia en la figura 14.

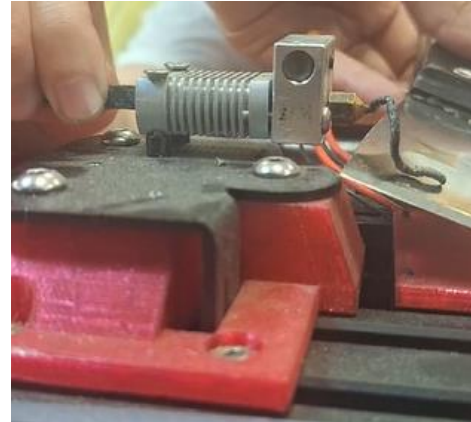
**Figura 11**

*Huinchas de Polipropileno.*



**Figura 12**

*Vista de la torsión del material a la salida*



Se concluye que el experimento es funcional, pero se deben considerar las siguientes variables:

- Longitud de la huincha,
- Diámetro de la boquilla
- Velocidad de salida
- Guía para evitar la torsión,
- Temperatura a la cual se endurece
- Tiempo que tarda en hacerlo,
- Problemas de impresión comunes.

***Nueva iteración del método de prensado en caliente con láminas de cobre.***

En una fase experimental previa, se investigó la posibilidad de utilizar técnicas de prensado térmico con calor indirecto a través de placas metálicas, tratando de replicar condiciones semiindustriales en entornos con poco equipamiento. Se intentó nuevamente optimizar este proceso. Para ello, se creó un procedimiento de laminado térmico asistido, utilizando dos placas de cobre repujado de 0.1 mm de grosor, que se calentaron con un soplete a aproximadamente 200 °C y se montaron sobre ladrillos refractarios. La presión se aplicó mediante una tabla con peso humano, simulando una presión moderada que no se pudo cuantificar de manera instrumental.

### Figura 13

*Experimento en proceso de preparación.*



Durante esta serie de pruebas, se eligieron y clasificaron dos tipos de muestras según su composición:

- Muestras tipo A: envases delgados sin capas metálicas (PET 1% / PP 99%).
- Muestras tipo B: envases laminados que incluyen aluminio (PP 90% / Al 10%).

Para mejorar la cohesión térmica antes del prensado, los extremos de las muestras fueron precalentados y sellados, evitando que el laminado se desensamble espontáneamente bajo presión. Se llevaron a cabo nueve intentos experimentales, de los cuales solo dos resultaron plenamente exitosos, logrando huinchas con dimensiones promedio de [150] mm de largo, 20 [mm] de ancho y un grosor uniforme de 1 [mm]. Las condiciones óptimas se dieron con tiempos de exposición térmica de 1 a 2 minutos de calentamiento y 30 a 45 [s] de prensado continuo. Estas muestras mostraron:

1. Conservación parcial de la flexibilidad típica del PP.
2. Buena homogeneidad dimensional.
3. Ausencia de tensiones internas perceptibles o rigidez excesiva.

**Tabla 3**

*Tipo de muestras y tiempos respectivos de presión y calor.*

Nº Prueba	Tipo Muestra	Tiempo Calor (min)	Tiempo Presión (s)
1	Tipo A	2	45
2	Tipo B	1,5	40
3	Tipo A	1,2	50
4	Tipo B	1,6	60
5	Tipo B	1,8	55
6	Tipo A	1,3	47
7	Tipo A	1,9	43
8	Tipo B	1,7	60
9	Tipo A	1,1	49

**Tabla 4**

*Resultados obtenidos al prensar las muestras del PP con placas de cobre y ladrillos.*

Grosor Final (mm)	Largo (cm)	Flex.	Uniformidad
1	15	Alta	Alta
1,1	14,5	Moderada	Media
1,3	13	Baja	Irregular
1,5	12	Muy baja	Baja
0,9	10	Media	Baja
1,2	11,5	Baja	Media
1,4	14	Muy baja	Irregular
1	12,5	Media	Media
1,6	13,5	Baja	Irregular

**Observaciones:**

1. Muestra exitosa, fusión homogénea y sin burbujas, adecuada para corte y trefilado.
2. Ligeramente más rígida, pero moldeable; se observaron algunas micro fisuras en los bordes.
3. Sobrecalentamiento en el borde superior causó rigidez localizada y pérdida de transparencia.
4. Presión excesiva con temperatura mal distribuida provocó cristalización parcial del material.
5. Pérdida de cohesión entre capas, con puntos de delaminación al centro de la muestra.
6. Material parcialmente fundido, pero con burbujas internas visibles a simple vista.
7. Endurecimiento rápido tras la presión, con bordes quemados y rigidez elevada.
8. Presencia de vetas internas por mezcla no homogénea del PP y aluminio; adecuada solo para pruebas mecánicas.
9. Distribución no uniforme del calor causó áreas rígidas junto a zonas frágiles, poco útil para extrusión.

Los factores que llevaron al fallo de las otras muestras incluyeron: el sobrecalentamiento

localizado de las placas, una presión insuficiente o desbalanceada, variaciones en el tiempo de aplicación, una disposición inadecuada del material (como pliegues), y oscilaciones térmicas del soplete de alrededor de  $\pm 4$  °C en relación con los 200 °C nominales. (Ver Anexo D para tabla competencia)

Estos hallazgos nos permiten concluir que, bajo condiciones controladas y con recursos accesibles, es posible preformar láminas del PP reciclado con una distribución aceptable de propiedades térmicas y mecánicas, incluso si contienen aluminio en baja proporción ( $\leq 10\%$ ).

Es importante destacar que las muestras exitosas no mostraron un aumento drástico en dureza, ni presentaron fracturas internas o zonas frágiles, lo que refuerza su potencial como filamento para procesos de extrusión.

### ***Tercer intento: Prensado en caliente***

Durante el tercer intento, se optó por aumentar significativamente la temperatura de las placas metálicas utilizadas para el prensado térmico, alcanzando aproximadamente los 800 °C mediante aplicación directa de calor durante 1 a 2 minutos. El objetivo fue evaluar el efecto de una temperatura más elevada en la fusión y cohesión del polipropileno reciclado.

Como resultado, se observó una mejora general en la calidad de la fusión entre capas, así como una mayor uniformidad en la textura, flexibilidad y dureza del material. Aunque algunas muestras presentaron bordes irregulares o dimensiones poco homogéneas, su funcionalidad como preinsumo para trefilado fue en la mayoría de los casos satisfactoria. (Ver Anexos D, tablas de resultados)

**Tabla 5**

Nuevas muestras para poner a prueba con la temperatura y tiempo bajo presión respectivos

N° Muestra	Tipo Muestra	Temperatura Placa (°C)	Tiempo Calor (min)	Tiempo Presión (s)
1	A	800	1,5	45
2	B	800	1,5	50
3	A	800	2	60
4	B	800	1	40
5	B	800	1,7	48

**Tabla 6**

*Resultados obtenidos al prensar las muestras del PP con placas de cobre y ladrillos con el método optimizado.*

Grosor Final (mm)	Largo (cm)	Flexibilidad	Uniformidad Dimensional
1,6	14,5	Alta	Buena
1,5	13,8	Media	Irregular
1,7	14	Media	Irregular
1,4	12,5	Media	Baja
1,5	13	Alta	Media

**Observaciones:**

1. Fusión adecuada, bordes levemente irregulares.
2. Ancho inconstante, pero con dureza aceptable.
3. residuos filamentosos, mantiene buena flexibilidad.
4. Dimensiones reducidas, útil para pruebas internas.
5. Derretida en bordes, pero flexible y estable.

**Figura 14**

*Nuevas Huinchas de pp y pp/Al*



**Intento de Trefilado Final**

Con las muestras obtenidas de la etapa anterior ya optimizada se llevó a cabo un último intento de trefilado para ver si los resultados de la etapa anterior podían replicarse, mejorar o cambiar de alguna manera que pudiera dar otro tipo de evidencia concluyente a la hora de transformarlo en filamento, luego fueron medidas con un pie de metro digital marca Smart tolos, modelo ROHS NORM 2011/65/EU (ver en Anexo C) a continuación se detallan las siguientes observaciones y resultados:

**Tabla 7**

*Resultados obtenidos al trefilar las muestras hechas con anterioridad para su evaluación mecánica.*

Prueba	Tipo de Muestra	Temp Extrusor [C]	Temp ambiente [C]	diámetro Filamento [mm]	Largo Filamento [mm]
1	Tipo B	180	25	1.83	1.07
2	Tipo B	185	25	1.55	7.58
3	Tipo A	190	25	2.59	13.81
4	Tipo B	195	25	N/A	N/A
5	Tipo B	200	25	1.94	14.51
6	Tipo A	200	22	N/A	N/A
7	Tipo A	215	20	N/A	N/A

#### Observaciones:

1. La muestra al mantener su flexibilidad complica el procedimiento de trefilado, puesto que, al aplicar presión hacia la boquilla en el extrusor, tiende a doblarse en su interior, lo que provoca que su salida sea menos uniforme y más lenta.

2. Al elevar la temperatura la fluidez y velocidad de salida también incrementó, Por desgracia, Una parte de la huincha se quedó atascada en el extrusor, lo que obligó a interrumpir la prueba a la mitad del procedimiento, aun así, se pudo rescatar un fragmento de muestra.
3. En esta prueba se optó por una muestra tipo a (solo pp y no Al) a 190 grados Celsius, el filamento resultante es el mismo que con el tipo B, mismo color, textura, grosor, espesor y densidad. Se endurece al contacto con temperatura ambiente.
4. La muestra al ser más sensible a la temperatura se provocó una adhesión térmica no deseada dentro del extrusor, se notó presencia de burbujas en la muestra y se terminó atascando.
5. 200 grados parecer ser la temperatura más optima esta vez para tener una buena proporción entre fluidez y velocidad de salida para poder crear filamento con el tipo de muestras B, se logró gracias a esto un largo de muestra mejor que el de los anteriores.
6. Esta muestra compuesta de polipropileno puro demuestra una resistencia inusual no encontrada previamente a la temperatura ya que

estando 2 minutos completos en el extrusor y empujando de manera manual no hubo deformaciones ni derretimiento de ella, en base a esto se eleva la temperatura y se vuelve a probar con esta muestra.

7. A pesar de haber elevado la temperatura de manera considerable sigue sin cambios en su estructura, se recomienda investigar en futuras etapas la composición química específica del material para comprender su comportamiento térmico.

### 3.4 Entrega

Después de las fases experimentales iniciales, se planea una nueva serie de etapas enfocadas en consolidar y optimizar el sistema que transforma residuos de polipropileno en filamento para impresión 3D. Estas etapas no solo permitirán ajustar técnicamente el proceso, sino también validar el insumo y analizarlo desde una perspectiva económica y técnica. La etapa 5 se centrará en optimizar el proceso de extrusión y controlar las dimensiones del filamento reciclado. En esta fase, se llevará a cabo un ajuste minucioso de los parámetros operativos más importantes, como la temperatura de extrusión, la presión aplicada, la velocidad de salida del material y el sistema de guiado del

filamento. El objetivo principal es estabilizar el diámetro del filamento, mejorar su continuidad y evitar defectos estructurales recurrentes como torsiones, burbujas o fracturas. Con estos ajustes, se planificará la producción de nuevas muestras de filamento reciclado que tengan una geometría uniforme y características reproducibles, las cuales servirán como base para las etapas de validación posteriores. En la etapa 6, se espera llevar a cabo la validación funcional del filamento a través de ensayos de impresión y prototipado utilizando tecnología FDM. Esta fase incluirá pruebas piloto con piezas tipo en condiciones de impresión estándar, con el objetivo de evaluar el rendimiento general del filamento reciclado. Se observarán variables como la fluidez, la adherencia entre capas, la precisión dimensional y la presencia de defectos visibles o funcionales. A partir de estas pruebas, se buscará desarrollar una capacidad sistemática para detectar y analizar fallos, como alabeo, pérdida de adherencia o formación de burbujas, y correlacionarlos con las variables del proceso de extrusión para guiar futuras mejoras.

La etapa 7 se centrará en evaluar las propiedades físico-mecánicas y térmicas del material reciclado. Se llevarán a cabo pruebas de tracción, dureza, elasticidad y estabilidad térmica para comparar el rendimiento del

filamento experimental con productos comerciales. Al mismo tiempo, se creará un registro fotográfico (Ver Anexos, Página 48, Anexo D) y metrológico de las muestras, junto con documentación técnica estandarizada. Esto permitirá construir un repositorio de datos que será accesible para futuras investigaciones y facilitará la trazabilidad del proceso desarrollado hasta ahora. Finalmente, la etapa 8 se dedicará a analizar la viabilidad económica, la escalabilidad y la sostenibilidad del sistema experimental propuesto. Se realizará un análisis de costo/beneficio que tomará en cuenta los tiempos de operación, el consumo de energía y los recursos utilizados en la producción del filamento reciclado, comparándolos con el costo de insumos comerciales equivalentes. Además, se sugerirán mejoras estructurales al sistema, como la automatización parcial, el uso de sensores de control térmico, la incorporación de módulos móviles o la integración del prototipo en espacios como el Fab Lab o laboratorios de diseño. El objetivo a largo plazo es desarrollar una versión replicable y sostenible del método, que pueda implementarse en contextos universitarios u otras iniciativas de reciclaje distribuido.

## 4 CONCLUSIONES

A lo largo del desarrollo de este informe, se ha avanzado considerablemente en la comprensión, diseño y validación preliminar de un método experimental que transforma residuos de envases de polipropileno (PP) en insumos funcionales para la manufactura aditiva a través de impresión 3D.

A continuación, se presentan las conclusiones más relevantes en relación con los objetivos específicos planteados:

### **1. Conclusiones sobre los objetivos específicos**

Objetivo específico 1: Identificación y recolección de residuos del PP.

Se implementó una estrategia efectiva para identificar y clasificar los envases plásticos de un solo uso en el campus San Joaquín. Se validó que los envases de snacks, especialmente los de obleas de chocolate y bombones, constituyen una parte significativa del PP desechado. Esta caracterización inicial permitió establecer una base material viable para su posterior procesamiento.

Objetivo específico 2: Experimentación con procesos de preparación del residuo. Se llevaron a cabo múltiples pruebas utilizando diferentes métodos térmicos y mecánicos — como planchado, prensado, horneado,

laminado y compresión entre placas metálicas— que ayudaron a identificar las condiciones más adecuadas para obtener huinchas que sean dimensionalmente estables. El prensado en caliente, tras un calentamiento indirecto, resultó ser el método más eficiente que encontramos para producir preformas con propiedades mecánicas aceptables.

Objetivo específico 3: Generación de insumo mediante trefilado. Se logró introducir material reciclado en la filamentadora y producir filamento a partir de huinchas recicladas del PP, especialmente aquellas derivadas de muestras tipo B (PP + aluminio  $\leq 10\%$ ). Aunque la longitud y continuidad del filamento se vieron limitadas por fenómenos como torsión o fractura, se demostró su manufacturabilidad bajo condiciones controladas de temperatura (entre 200–250 °C) y presión manual.

Objetivo específico 4: Testeo preliminar del insumo en impresión 3D. Los parámetros que hemos logrado hasta ahora nos dan una buena idea de que el filamento podría ser adecuado para la impresión FDM, siempre y cuando establezcamos sus propiedades dimensionales y mecánicas.

## **2. Principales hallazgos y contribuciones:**

1. Se demostró que los envases del PP multicapa, incluso aquellos que contienen aluminio, pueden ser reutilizados como materia prima secundaria en procesos de extrusión.
2. Se estableció un método de transformación que se puede reproducir con recursos disponibles en un entorno universitario, sin necesidad de maquinaria industrial externa.
3. Se recopiló evidencia empírica que respalda el potencial del PP reciclado como un insumo válido para la impresión 3D, contribuyendo así al desarrollo de metodologías de reciclaje distribuido en contextos educativos.

## **3. Limitaciones y oportunidades de mejora**

Entre las principales restricciones que se encontraron, destacan las siguientes:

- a. La dificultad para controlar la torsión del filamento al salir del extrusor.
- b. La falta de maquinaria especializada que permita aplicar una presión constante y un guiado automatizado.

c. La variabilidad en la composición de los envases recolectados, lo que impacta en la homogeneidad del filamento.

Por lo tanto, se sugiere:

- I. Integrar una guía estabilizadora en la salida del extrusor para prevenir curvaturas.
- II. Incorporar sensores de temperatura y presión en el sistema de extrusión para asegurar la repetibilidad.
- III. Realizar pruebas de caracterización mecánica utilizando equipamiento de laboratorio (ensayos de tracción, dureza, DSC).

#### **4. Proyección futura**

Este trabajo deja una base técnica y metodológica sólida para ser continuada por futuros estudiantes. La implementación de pruebas de impresión, la exploración del uso de aditivos (como fibras o minerales), y la documentación de parámetros de procesamiento estandarizados son líneas futuras claras. Asimismo, la evaluación de escalabilidad económica y replicabilidad del

sistema en otros campus permitiría avanzar hacia modelos reales de economía circular en la educación superior.

#### **Referencias para continuidad del proyecto**

Las siguientes actividades no serán abordadas en esta memoria, pero se proponen como líneas de trabajo futuras para quien retome esta investigación:

1. Pruebas funcionales en impresión 3D  
Una vez obtenida una muestra de filamento con propiedades dimensionales adecuadas, se realizarán pruebas básicas de impresión con geometrías estándar. Estas pruebas buscarán validar la compatibilidad del insumo reciclado con las impresoras FDM disponibles en el laboratorio universitario.
2. Sistematización del método en un manual replicable que registre condiciones, variables y resultados técnicos.
3. Evaluación del modelo desde una perspectiva de escalabilidad técnica y sostenibilidad operativa, incluyendo propuestas de mejora y automatización del sistema de reciclaje.

## REFERENCIAS

- ASIPLA. (2023). *CONOZCA LAS ESTADÍSTICAS DE LA INDUSTRIA DEL PLÁSTICO* 2022. <https://asipla.cl/conozca-las-estadisticas-de-la-industria-del-plastico-2022/>
- Banco Mundial. (2018). *Los desechos: un análisis actualizado del futuro de la gestión de los desechos sólidos*. <https://www.bancomundial.org/es/news/immersive-story/2018/09/20/what-a-waste-an-updated-look-into-the-future-of-solid-waste-management>
- Bañegil, R., & Sainz, F. (2022). *Investigación De Materiales Para Impresión 3D De Tejidos* [UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID]. [https://oa.upm.es/71120/3/TFM\\_RAQUE\\_L\\_BANEGIL\\_COLLADO.pdf](https://oa.upm.es/71120/3/TFM_RAQUE_L_BANEGIL_COLLADO.pdf)
- Bianco, C., Isso, F., & Moskat, M. (2021). Plásticos en América Latina. In *GAIA*. <https://www.no-burn.org/wp-content/uploads/2022/03/Plasticos-en-America-Latina-2022.pdf>
- Bordianu, D. (2023). *La impresión 3D como nuevo modelo de producción* [Universidad de Valladolid]. <https://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/61465/1/TFG-E-1778.pdf>
- Dulcey, D. & Murillo, S. (2022). *Diseño de un proceso de aprovechamiento de residuos*

- poliméricos para la impresión 3D en el laboratorio de resistencia de materiales y metalografía.* November. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26902.83529>
- Lindwall, C. (2024). *Plásticos de un solo uso 101.* NRDC. <https://www.nrdc.org/es/stories/plasticos-solo-uso-101>
- Martínez, B., Arévalo, M. & Reyes, M. (2023). Implementación de polímeros termoplásticos reciclados como materia prima potencial para procesos de manufactura aditiva. *Ciencia y Poder Aéreo*, 19(1), 100–111. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderae.reo.802>
- OECD. (2022). *La contaminación plástica crece sin cesar a medida que la gestión de residuos y el reciclaje fallan, afirma la OCDE.* <https://www.oecd.org/en/about/news/press-releases/2022/02/plastic-pollution-is-growing-relentlessly-as-waste-management-and-recycling-fall-short.html>
- Organización de las Naciones Unidas. (2023). *Todo lo que necesitas saber sobre la contaminación por plásticos.* [https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-la-](https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-la-contaminacion-por-plasticos)
- contaminacion-por-plasticos
- Kreiger, M., & Pearce, J. M. (2013). Environmental impacts of distributed manufacturing from 3-D printing of polymer components and products. *MRS Online Proceedings Library (OPL)*, 1492, 85-90.
- Asociación Gremial de Industriales del Plástico (ASIPLA). (2023). *Tercer estudio sobre reciclaje de plásticos en Chile.*
- Creatividad Positiva. (2023). *El reciclaje del plástico en Chile creció un 15%.* <https://www.creatividadpositiva.cl/web/index.php/2024/01/19/el-reciclaje-del-plastico-en-chile-crecio-un-15/>
- País Circular. (2023). *Los desafíos del reciclaje de plástico en Chile y el impacto de la Ley REP* <https://www.piensacircular.com/2024/01/23/asipla-la-capacidad-total-de-reciclaje-plastico-en-chile-es-suficiente-hasta-el-segundo-ano-de-la-ley-rep/>
- BioBioChile. (2023). *El futuro del reciclaje de plástico en Chile.* <https://www.biobiochile.cl/biobiotv/programas/entrevistas-biobiotv/2021/12/23/el-futuro-del-reciclaje-de-plastico-en-chile.shtml>
- Bhandari, S., & Ramakrishna, S. (2020). *Recycling of waste polypropylene for 3D*

*printing applications. Materials Letters, 259, 126853.*

*Khatri, B., Choi, H. S., & Kim, D. S. (2018). Characterization of recycled polypropylene filaments for 3D printing. Materials Today: Proceedings, 5(2), 15403-15410.*

*Ministerio del Medio Ambiente de Chile. (2020). Estrategia Nacional de Residuos Plásticos. Gobierno de Chile.*

*País Circular. (2024). Un 15 % creció el reciclaje de plásticos en Chile post pandemia. País Circular.*

*Recreus. (2023). Desarrollo de filamentos optimizados de polipropileno para impresión 3D.*

*Rupp, J., & Lindemann, C. (2018). Material Selection for Additive Manufacturing: A Comprehensive Guide to Metal and Non-*

*metal Materials for AM and AM Materials Process Development. Springer.*

*Singh, R., Gupta, A., & Sachdeva, A. (2014). Investigations for mechanical properties of polypropylene—based prototypes obtained from rapid tooling applications. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, 228(12), 2033-2042.*

## ANEXO A – [Entrevistas y testimonios]

<b>Entrevista 1</b>
Realizada el 23 de septiembre 2024, lunes, al personal de aseo y recolección de basura del Campus.
<b>Nombre:</b> Ricardo Arriagada
<b>P1: ¿Qué tipos de residuos plásticos ve con más frecuencia?</b> R1: En su mayoría son botellas plásticas y luego le siguen los envoltorios de comidas y galletas.
<b>P2: ¿En qué lugares del campus ha visto que se generen residuos con más frecuencia?</b> R2: En el denominado "cerrito" y en las mesas verdes para almorzar.
<b>P3: ¿Existen tipos de plástico que vea con más frecuencia en ciertos horarios del día?</b> R3: Tapas de botella y envoltorios, misma frecuencia todos los días.
<b>P4: ¿Sabe si los estudiantes separan los plásticos de lo demás o suelen mezclarlos con basura común?</b> R4: No lo separan, aunque hay basureros específicos en sectores del campus, no hay cultura de reciclaje de su parte.
<b>P5: ¿Hay contenedores especiales para reciclar plásticos en los lugares comunes?</b> R5: Sí, los hay, pero no se utilizan de manera correcta, tampoco se preocupan de mantenerlos limpios.
<b>P6: ¿Has notado si hay más de un plástico entre los residuos que recoge?</b> R6: Sí, en su mayoría PET, polipropileno y otros. (números 1,5 y 7)
<b>P7: ¿Cómo describiría la cantidad de residuos plásticos que recolecta a diario? ¿Es más o menos la misma todos los días o varía?</b> R7: Es más o menos la misma, solo varía para eventos como la semana sansana, semana mechona o las fiestas patrias.
<b>P8: ¿Considera que hay algún tipo de plástico que podría ser más fácil de recoger o reciclar si se gestionara de otra forma?</b> R8: No sabe, le gustaría que se reciclaran más botellas y envases.
<b>P9: ¿Ha recibido instrucciones o formación de parte de la universidad para clasificar o manejar mejor los residuos plásticos?</b> R9: No, no hay una formación o inducción, solo se dejan los basureros especializados para que los alumnos se autogestionen.

<b>Entrevista 2</b>
Realizada el lunes 30 de septiembre al personal de los quioscos de San Joaquín.
<b>Pregunta: ¿Cuáles son los 3 productos snack que vienen envasados más populares en su quiosco?</b> Respuestas: <b>Quiosco Nury's:</b> son las Galletas frac, los bombones bon o bon y las papas fritas Lays. <b>Quiosco Diaz Sanos:</b> son los bombones bon o bon, galletas tritón y chocolates sahn nuss. <b>Quiosco del casino:</b> son los chocolates kit kat, las galletas tritón y las galletas marca costa.

<b>Entrevista 3</b>
Realizada el 2 de octubre de 2024, miércoles.
<b>Nombre:</b> Brígida Arias (Administradora del Campus San Joaquín)
<b>P1: ¿Cuál es el protocolo actual del campus SJ sobre la recolección y separación de residuos?</b> R1: Tenemos un convenio con la municipalidad de san Joaquín, ellos vienen a retirar la basura que se recolecta en los basureros especializados una vez cada 2 semanas o 1 al mes, dependiendo de la cantidad producida. El convenio es gratis. <b>P2: ¿Qué tipos de residuos son los que más se desechan en el campus según su observación?</b> R2: Lo que se lleva la municipalidad son latas, botellas y mucho cartón. <b>P3: ¿Cuenta el campus con campañas o programas de concientización sobre separación de residuos?</b> R3: No dio respuesta directa de sí o no, pero dijo que el problema son los alumnos porque no reciclan o botan los desechos en basureros no aptos o en cualquiera. También menciona que, desde enero a abril del 2024, la municipalidad ha reciclado por parte del campus 415 kg de residuos.

#### Entrevista 4

**Nombre:** Udo Reinschmidt Ingeniero Mecánico USM CC y administrador a cargo del Eco Fab Lab

**P1: ¿Cuál ha sido la experiencia del ECO Fab Lab (EFL) en la transformación de residuos plásticos en materiales utilizables y cómo ha evolucionado este proceso con el tiempo?**

El principal desafío en la transformación es el flujo continuo de las hojuelas en comparación de los pellets, las cuales ruedan como bolitas sin problemas. Las hojuelas se tascan.

**P2: ¿Qué tipo de plásticos han encontrado más adecuados para reciclar y convertir en filamento de impresión 3D y cuáles han presentado mayores dificultades?**

Usamos principalmente PP de las tapas de botellas, pero en forma de hojuelas, como has visto en tu visita en el EFL.

**P3; ¿Cómo integra el Fab Lab tecnologías o maquinaria específica para el reciclaje y transformación de plásticos en su cadena de producción?**

Usamos una trituradora para convertir las tapas en hojuelas, de allí se usa un cabezal extrusor y un brazo robótico UR para la replicación de modelos CAD vía a la extrusora.

**P4: ¿Qué recomendaciones técnicas nos daría para garantizar la calidad del filamento reciclado, especialmente en cuanto a propiedades mecánicas y térmicas?**

No tengo experiencias todavía en esta área.

**P5. Desde su perspectiva como coordinador del Fab Lab, ¿qué oportunidades ve en la implementación de un sistema de reciclaje de polipropileno dentro del campus universitario?**

El primer objetivo es crear materia primaria desde basura en vez de comprar pellets. Otro efecto genial es despertar a la comunidad universitaria en cuanto al tema de reciclaje, para llevar este aprendizaje a su vida cotidiana.

**P6: ¿Han experimentado con el reciclaje de polipropileno en particular? Si es así, ¿qué desafíos han enfrentado en términos de procesamiento o rendimiento del material?**

Ver pregunta 1.

**P7: ¿Qué tipo de maquinaria específica utiliza el Fab Lab para el reciclaje de plásticos, y sería factible replicar o adaptar estas máquinas para el reciclaje de polipropileno en el campus San Joaquín?**

Ver punto3. Es 100% recomendable de replicar el EFL en SJ.

## ANEXO B – [Certificado de retiro de reciclaje]



Municipalidad de San Joaquín  
Dirección de Higiene y Medio Ambiente



Certificada Ambientalmente Nivel Excelencia



San Joaquín 30 de Septiembre de 2024

### CERTIFICADO RETIRO DE RECICLAJE

#### UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

A través del presente documento, se certifica el retiro de residuos / materiales reciclables, desde Universidad Técnica Federico Santa María, Rol Único Tributario 81.668.700-4, ubicada en Av. Vicuña Mackenna N°3939, San Joaquín, correspondiente a los meses de: Mayo, Junio, Julio y Agosto del año 2024.

A continuación se detallan los materiales y cantidades retirados:

#### CANTIDAD EN KILOS DE RESIDUOS RECICLABLES:

Material	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	TOTAL(kg)
PET	100	50	50	75	275
PAPEL	90	90	120	180	480
LATAS AL	30	15	15	15	75
<b>TOTAL</b>	<b>220</b>	<b>155</b>	<b>185</b>	<b>270</b>	<b>830</b>

*Se han retirado 830 kilos de material reciclable desde las dependencias de Universidad Federica Santa María, sede San Joaquín.*

Sin otro particular se despide atentamente

  
Claudia Silva Torres  
Encargada Gestión y Control Ambiental



## ANEXO C – [Instrumentos usados en las fases de experimentación]

<p>PLANCHA URSUS TROTTER UT-SSBLATT</p>	
<p>SANDWICHERA PANINI BLACK &amp; DECKER</p>	
<p>HORNO ELÉCTRICO DE CONVECCIÓN BLACK &amp; DECKER</p>	
<p>SOPLETE PRAKTUS A GAS PROPANO MODELO 878</p>	
<p>CRISOL Y VASO PRECIPITADO DE BOROSILICATO 3.3 MARCA ISOLAB DE 300 ML</p>	

Filamentadora y extrusor de botellas de Tecnoplast USM	
Pie de metro digital Smart tools ROHS NORMA 2011/65/EU	

## ANEXO D – [Tablas de experimentaciones finales]

Nº Prueb	Tipo Muestra	Tiempo Calor (min)	Tiempo Presión (s)	Grosor Final (mm)	Largo (cm)	Flex.	Uniformidad
1	Tipo A	2	45	1	15	Alta	Alta
2	Tipo B	1,5	40	1,1	14,5	Moderada	Media
3	Tipo A	1,2	50	1,3	13	Baja	Irregular
4	Tipo B	1,6	60	1,5	12	Muy baja	Baja
5	Tipo B	1,8	55	0,9	10	Media	Baja
6	Tipo A	1,3	47	1,2	11,5	Baja	Media
7	Tipo A	1,9	43	1,4	14	Muy baja	Irregular
8	Tipo B	1,7	60	1	12,5	Media	Media
9	Tipo A	1,1	49	1,6	13,5	Baja	Irregular

**Tabla 3**

*Resultados obtenidos al prensar las muestras de PP.*

N° Muestr	Tipo Muestra	Temperatura Placa (°C)	Tiempo Calor (min)	Tiempo Presión (s)	Grosor Final (mm)	Largo (cm)	Flexibilidad	Uniformidad Dimensiones
1	A	800	1,5	45	1,6	14,5	Alta	Buena
2	B	800	1,5	50	1,5	13,8	Media	Irregular
3	A	800	2	60	1,7	14	Media	Irregular
4	B	800	1	40	1,4	12,5	Media	Baja
5	B	800	1,7	48	1,5	13	Alta	Media

Observaciones
Fusión adecuada, bordes levemente irregulares.
Ancho inconstante, pero con dureza aceptable.
Hilachas visibles, mantiene buena flexibilidad.
Dimensiones reducidas, útil para pruebas internas.
Derretida en bordes, pero flexible y estable.

**Tabla 4**

*Resultados obtenidos al prensar el material plástico con el método optimizado.*

**Tabla 5***Resultados de trefilación final.*

Prueba	Tipo de Muestra	Temp Extrusor [C]	Temp ambiente [C]	Diametro Filamento [mm]	Largo Filamento [mm]
1	Tipo B	180	25	1.83	1.07
2	Tipo B	185	25	1.55	7.58
3	Tipo A	190	25	2.59	13.81
4	Tipo B	195	25	N/A	N/A
5	Tipo B	200	25	1.94	14.51
6	Tipo A	200	22	N/A	N/A
7	Tipo A	215	20	N/A	N/A

Repositorio de Imágenes y Proceso de los experimentos:

[https://drive.google.com/drive/folders/1dhdKrKFKeuI\\_K2ii24HZ5ivOH42QhG24?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/1dhdKrKFKeuI_K2ii24HZ5ivOH42QhG24?usp=sharing)