



UNIVERSIDAD
Finis Terrae

UNIVERSIDAD FINIS TERRAE
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL INDUSTRIAL

**EVALUAR LA VIABILIDAD TÉCNICA - ECONÓMICA DE LA PLANTA
CIRCULAR DE CCU PARA LA ELABORACIÓN DE HILO PLÁSTICO
COMO UN NUEVO SUBPROCESO O LÍNEA NEGOCIO.**

JORGE ARIEL ARTEAGA COBEÑA

Trabajo de título presentado a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Finis Terrae, para
optar al Título de Ingeniero Civil Industrial

Profesor Guía: Francisca Gómez Guajardo

Santiago, Chile

2025

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	9
1.1 Situación del problema	9
1.2 Solución propuesta	10
1.2.1 Beneficios Ambientales	11
1.2.2 Beneficios Económicos	11
1.2.3 Beneficios Sociales	12
1.2.4 Beneficios Técnicos	12
1.3 Objetivos	12
1.3.1 Objetivo General	12
1.3.2 Objetivo Específicos	12
1.4 Alcances y limitaciones	12
1.4.1 Alcances	12
1.4.2 Limitaciones	13
CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE	14
2.1 Economía Circular y Reciclaje de Plásticos	14
2.2 Producción de Hilo Plástico a partir de Residuos	15
2.3 Viabilidad Técnica de Nuevos Subprocesos	15
2.4 Impacto Económico y Social del Reciclaje	15
2.5 Indorama Ventures y la Economía Circular	15
2.6 Patagonia y la Sostenibilidad en la Moda	16
2.7 Unifi y la Innovación Textil	16
2.8 Producción de Nuevos Productos con Acero en AZA	17
CAPÍTULO 3: MARCO TEÓRICO	18
3.1 Subproceso	18
3.2 Reproceso	18
3.3 Modelos As Is y To Be	19
3.4 Residuos Plásticos	20
3.5 Proceso de residuos plásticos	21
3.6 Modelamiento del proceso	23
3.7 BPMN	25
3.8 Simulación	27
3.9 Viabilidad Técnica - Económica	28
3.10 Economía Circular	29
CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA	31
4.1 Diagnóstico del Problema y Recolección de Datos	31
4.2 Propuesta de Solución	31
4.2 Simulación del subproceso propuesto	31
4.4 Evaluación Técnica	32
4.5 Evaluación Económica	32

CAPÍTULO 5: DESARROLLO	33
5.1 Descripción de la situación actual - Descripción de la empresa	27
5.2 Bebidas Alcohólicas	28
5.3 Bebidas No Alcohólicas	28
5.4 Economía Circular	29
5.4.1 Aplicación en la Planta Circular de CCU	29
5.5 Uso Responsable de Recursos	29
5.5.1 Iniciativas Específicas	29
5.6 Innovación y Desarrollo Sostenible	30
5.6.1 Aspectos Clave de la Innovación	30
5.7 Impacto de las Políticas de Sostenibilidad de CCU	30
5.8 Impacto Medioambiental	31
5.8.1 Gestión de Residuos Plásticos	31
5.8.2 Contribución a la Economía Circular	31
5.9 Perspectiva Económica	32
5.9.1 Diversificación de la Línea de Productos	32
5.9.2 Optimización de Recursos y Mejora de la Rentabilidad	32
5.10 Propósito y Valores	32
5.11 Desarrollo objetivo 1: Diagnóstico del caso.	33
5.12 Fase 1	35
5.12.1 Etapa: Recepción y Clasificación Inicial	35
5.13 Fase 2	36
5.13.1 Etapa: Descompactación y Pre-limpieza	36
5.13.2 Participante: Técnico de Pre-limpieza y Trituración	36
5.14 Fase 3	36
5.14.1 Etapa: Trituración	36
5.14.2 Participante: Técnico de Pre-limpieza y Trituración	36
5.15 Fase 4	36
5.15.1 Etapa: Lavado de Hojuelas	36
5.15.2 Participante: Especialista en Lavado y Secado	36
5.16 Fase 5	37
5.16.1 Etapa: Descontaminación	37
5.16.2 Participante: Ingeniero de Descontaminación	37
5.17 Fase 6	37
5.17.1 Etapa: Extrusión y Pelletizado	37
5.17.2 Participante: Operador de Extrusión y Pelletizado	37
5.18 Fase 7	37
5.18.1 Etapa: Recuperación de Propiedades	37
5.18.2 Participante: Especialista en Recuperación de Propiedades	37
5.19 Fase 8	37
5.19.1 Etapa: Transferencia a Plasco	38
5.19.2 Participante: Coordinador de Logística	38
5.20 Desarrollo objetivo 2: Diseño de un subproceso para transformar botellas plásticas en hilo plástico.	38
5.21 Recolección y Clasificación	39
5.22 Lavado y Trituración	39
5.23 Secado	39

5.24 Extrusión	39
5.25 Enfriamiento	39
5.26 Estiramiento y Orientación	39
5.27 Enrollado	39
5.28 Calidad y Acabado	40
5.29 Empaquetado y Distribución	40
5.30 Recolección y Clasificación	42
5.31 Lavado y Trituración	42
5.32 Secado	42
5.33 Extrusión	43
5.34 Enfriamiento	43
5.35 Estiramiento y Orientación	44
5.36 Enrollado	44
5.37 Calidad y Acabado	44
5.38 Empaquetado y Distribución	45
5.39 Proveedores de Materiales Plásticos	45
5.40 Proveedores de Servicios Energéticos	45
5.41 Proveedores de Maquinaria y Tecnología	45
5.42 Proveedores de Logística y Transporte	45
5.43 Proveedores de Insumos Generales	46
5.44 Desarrollo objetivo 3: Simular la implementación del subproceso propuesto.	46
5.45 Desarrollo objetivo 4: Evaluar técnicamente la viabilidad del subproceso.	50
5.46 Capacidad de producción	50
5.46.1 Dimensionamiento de maquinaria	50
5.46.2 Sincronización de etapas	50
5.46.3 Flexibilidad operativa	50
5.47 Calidad del hilo plástico	50
5.47.1 Factores técnicos en la calidad	50
5.47.2 Pruebas de control de calidad	51
5.47.3 Estándares del mercado	51
5.48 Eficiencia energética	51
5.48.1 Distribución del consumo energético	51
5.48.2 Optimización del consumo	51
5.48.3 Uso de energías renovables	51
5.49 Durabilidad y mantenimiento de la maquinaria	51
5.49.1 Frecuencia de mantenimiento	51
5.49.2 Disponibilidad de repuestos	52
5.50 Compatibilidad con la infraestructura existente	52
5.50.1 Espacios físicos	52
5.50.2 Conexiones eléctricas	52
5.51 Impacto ambiental	52
5.51.1 Gestión de residuos	52
5.51.2 Uso del agua	52
5.51.3 Emisiones de carbono	52
5.52 Desarrollo objetivo 5: Evaluación económica y financiera del subproceso.	52
5.52.1 Resultados de la evaluación económico-financiera	53

<i>5.52.2 Análisis de sensibilidad del proyecto</i>	55
<i>5.52.3 Análisis de escenarios del proyecto</i>	61
<i>CAPÍTULO 6: Conclusiones y Recomendaciones</i>	62
<i>CAPÍTULO 7: Glosario.</i>	64
<i>CAPÍTULO 8: Bibliografía</i>	65

ÍNDICE DE TABLAS E ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1: Clasificación internacional de los residuos plásticos.</i>	18
<i>Ilustración 2: Modelamiento de un proceso</i>	21
<i>Ilustración 3: Seis metas de CCU</i>	27
<i>Ilustración 4: Primera parte modelo As Is del proceso de gestión de residuos plásticos</i>	34
<i>Ilustración 5: Segunda parte modelo As Is del proceso de gestión de residuos plásticos</i>	35
<i>Ilustración 6: Primera parte del modelo del procesos de conversión de botellas plásticas en hilo plástico.</i>	40
<i>Ilustración 7: Segunda parte del modelo del procesos de conversión de botellas plásticas en hilo plástico.</i>	41
<i>Ilustración 8: Distribución de equipamiento y costos del proceso reciclaje PET.</i>	41
<i>Ilustración 9: Distrinución de maquinarias, personal y energía en las 5 primeras etapas del proceso de reciclaje PET.</i>	41
<i>Ilustración 10: Modelo para la simulación del proceso.</i>	48
<i>Ilustración 11: Propiedades para la validación del proceso.</i>	48
<i>Ilustración 12: Tiempo de procesamiento.</i>	49
<i>Ilustración 13: Análisis disponibilidad de recursos.</i>	49
<i>Ilustración 14: Costos de la disponibilidad de recursos.</i>	49
<i>Ilustración 15: Resultados VAN, WACC y TIR</i>	54
<i>Ilustración 16: Evaluación económica.</i>	55
<i>Ilustración 17: Proporción costos variables, VAN financiero.</i>	56
<i>Ilustración 18: Proporción costos variables, VAN económico</i>	56
<i>Ilustración 19: Gráfico proporción costos variables, VAN económico.</i>	56
<i>Ilustración 20: : Gráfico proporción costos variables, VAN financiero</i>	57
<i>Ilustración 21: monto de la deuda, VAN financiero.</i>	57
<i>Ilustración 22: costo de la deuda, VAN financiero.</i>	57
<i>Ilustración 23: Gráfico proporción de deuda, VAN financiero</i>	58
<i>Ilustración 24: Gráfico costo de la deuda, VAN financiero.</i>	58
<i>Ilustración 25: Combinación de factores Inversión KTN y crecimiento.</i>	59
<i>Ilustración 26: Combinación de factores Inversión KTN y proporción de costos variables.</i>	59
<i>Ilustración 27: : Combinación de factores precio de venta y proporción de costos variables.</i>	60
<i>Ilustración 28: Resumen escenarios VAN.</i>	61
<i>Ilustración 29: Gráfico del VAN de los escenarios del proyecto.</i>	61
<i>Tabla 1: Dimensiones As is y To Be</i>	17
<i>Tabla 2: Variables de estimación del costo de capital</i>	53

RESUMEN

La creciente acumulación de residuos plásticos, en particular botellas de tereftalato de polietileno (PET), constituye un desafío ambiental de gran relevancia en Chile. En respuesta a esta problemática, la empresa Compañía Cervecerías Unidas (CCU) ha impulsado la implementación de la planta “CirCCUlar”, orientada al cumplimiento de los principios de la economía circular. El presente estudio tuvo como objetivo principal evaluar técnica y económicamente la incorporación de un subproceso complementario dentro de esta planta, enfocado en la transformación de escamas de PET reciclado en hilo plástico tipo zuncho. Esta iniciativa busca diversificar los usos del material reciclado y generar una nueva línea de negocio para la empresa.

Para abordar este propósito, se desarrollaron distintas actividades, tales como el modelamiento del proceso actual mediante la metodología “As Is” utilizando el software Bizagi, una evaluación técnica que incluyó el análisis de maquinaria, requerimientos energéticos y recurso humano, además de una evaluación económica basada en proyecciones financieras a cinco años, considerando escenarios pesimista, normal y optimista, incorporando tasas de crecimiento en ingresos y costos. Los resultados obtenidos confirmaron la viabilidad técnica del subproceso propuesto, siendo factible producir hilo plástico de calidad utilizando la tecnología actualmente disponible en el mercado. Desde el punto de vista económico, el análisis arrojó rentabilidad en los escenarios normal y optimista, evidenciando beneficios crecientes a lo largo del tiempo.

Se concluyó que la implementación de este subproceso representa una alternativa sustentable para CCU, permitiéndole no solo disminuir su impacto ambiental, sino también fortalecer su posicionamiento dentro de la industria mediante la valorización de residuos.

Palabras clave: reciclaje PET, hilo plástico, economía circular, gestión de residuos, sustentabilidad.

ABSTRACT

The increasing accumulation of plastic waste, particularly polyethylene terephthalate (PET) bottles, presents a significant environmental challenge in Chile. In response, Compañía Cervecerías Unidas (CCU) developed the “CirCCUlar” plant, aligning with the principles of the circular economy. This study aimed to conduct a technical and economic evaluation of a complementary sub-process within the plant, focused on transforming recycled PET flakes into plastic strapping-type thread. The objective was to diversify the use of recycled material and introduce a new business line.

To achieve this, several activities were undertaken: modeling of the current process using the “As Is” approach with Bizagi software, a technical assessment of machinery, energy, and personnel requirements, and an economic evaluation with five-year financial projections. The analysis considered pessimistic, normal, and optimistic scenarios, incorporating growth rates for both revenues and costs. The results confirmed the technical feasibility of the proposed sub-process, demonstrating the capability to produce high-quality plastic thread using current market technology. From an economic standpoint, the project proved to be profitable in the normal and optimistic scenarios, showing increasing economic benefits over time.

It was concluded that the implementation of this sub-process offers a sustainable alternative for CCU, enabling the company to reduce its environmental footprint while enhancing its market positioning through effective waste valorization.

Keywords: PET recycling, plastic thread, circular economy, waste management, sustainability.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

La Compañía Cervecerías Unidas S.A. (CCU) es una de las principales empresas de bebidas en Chile y América Latina, con una trayectoria que se remonta a 1902. Su actividad comercial abarca la producción, distribución y comercialización de una amplia gama de productos, incluyendo cervezas, aguas minerales, bebidas gaseosas, jugos, vinos, energéticas y productos funcionales. Gracias a una estructura diversificada y alianzas estratégicas con marcas internacionales, CCU ha logrado consolidar una presencia relevante en mercados como Argentina, Bolivia, Colombia, Paraguay y Uruguay.

La compañía opera bajo un modelo de negocio integrado que le permite controlar gran parte de su cadena de valor, desde la elaboración de bebidas hasta su distribución final. Esta capacidad ha sido clave para fortalecer su posicionamiento, mejorar su eficiencia operativa y adaptarse a las exigencias del entorno competitivo.

En los últimos años, CCU ha reforzado su compromiso con la sostenibilidad, integrando principios de economía circular en sus operaciones. Un ejemplo concreto de esta orientación es la planta “CirCCUlar”, enfocada en el reciclaje de botellas plásticas para darles una nueva vida útil. Esta iniciativa, junto con otras prácticas responsables, refleja el esfuerzo de la empresa por innovar y mantener una actividad comercial rentable, pero a la vez consciente de su impacto ambiental y social.

1.1 Situación del problema

Actualmente, la planta circular de CCU enfrenta el reto económico de gestionar grandes volúmenes de botellas plásticas que, al no cumplir con los estándares de calidad para su reutilización, terminan siendo apiladas o descartadas. Este manejo ineficiente no solo agrava los problemas ambientales, sino que también representa una significativa pérdida económica. Cada botella descartada es un recurso potencialmente valioso que, si se revaloriza adecuadamente, podría convertirse en una nueva fuente de ingresos para la planta. Transformar estos residuos en hilo plástico, por ejemplo, no sólo reduciría los costos asociados con la eliminación de desechos, sino que también generaría un producto adicional que podría diversificar las fuentes de ingresos de CCU. Implementar esta estrategia permitiría a la planta optimizar el uso de sus recursos, mejorar la eficiencia operativa y aumentar la rentabilidad, alineándose con los principios de la economía circular y la sostenibilidad

financiera. (European Parliament. (2021). Circular economy and plastics. European Parliament)

1.2 Solución propuesta

En este contexto, la empresa CCU busca implementar un subproceso dentro de su planta circular destinado a la transformación de residuos plásticos en hilo zuncho, aprovechando materiales que actualmente no se utilizan en su totalidad en el proceso principal. Este subproceso se originaría a partir de los desechos plásticos que no cumplen con los estándares de calidad requeridos para su uso en la producción principal, lo que permite maximizar el aprovechamiento de los recursos. La implementación de este subproceso no solo responde a la necesidad de reducir el impacto ambiental a través de prácticas de reciclaje, sino que también ofrece a la empresa una oportunidad estratégica para diversificar su línea de productos, incrementando así su competitividad en el mercado mediante la introducción de un producto adicional.

Para abordar las crecientes políticas y regulaciones que exigen a las empresas ser más sostenibles y responsables con el medio ambiente, CCU planea implementar un subproceso que reutilice los residuos plásticos para la producción de hilo plástico, lo que podría convertirse en una fuente adicional de ingresos, mejorando tanto la rentabilidad como la eficiencia operativa. Este enfoque se alinea con los principios de la economía circular, promoviendo un uso más sostenible de los recursos y reduciendo la dependencia de materias primas vírgenes. Es por ello que se llevará a cabo un análisis exhaustivo de los procesos de limpieza de las botellas plásticas que se utilizarán en este nuevo subproceso, y se propondrá la creación de un nuevo producto con los desperdicios que no puedan ser reutilizados en el proceso principal.

Implementar un subproceso para transformar residuos plásticos en hilo plástico en la planta circular de CCU puede traer múltiples beneficios, tanto a nivel ambiental como económico y social. A continuación se detallan algunos de los principales beneficios:

1.2.1 Beneficios Ambientales

1.2.1.1 Reducción de Residuos Plásticos: Al reciclar botellas desechadas, se disminuye la cantidad de residuos plásticos que llegan a vertederos y cuerpos de agua, contribuyendo a la limpieza del entorno y a la conservación de ecosistemas.

1.2.1.2 Sostenibilidad: Este subproceso promueve un enfoque de economía circular, donde los materiales se reutilizan en lugar de ser desechados, lo que reduce la necesidad de producir plásticos nuevos y disminuye la huella de carbono.

1.2.1.3 Ahorro de Recursos Naturales: Al utilizar materiales reciclados para producir hilo plástico, se disminuye la extracción de recursos naturales, lo que contribuye a la conservación del medio ambiente.

1.2.2 Beneficios Económicos

1.2.2.1 Diversificación de Productos: La producción de hilo plástico permite a CCU diversificar su oferta de productos, lo que puede atraer a nuevos segmentos de mercado y aumentar las oportunidades de ventas.

1.2.2.3 Generación de Ingresos Adicionales: La venta de hilo plástico, ya sea para su uso interno en la producción de otros productos o como artículo independiente, puede generar nuevas fuentes de ingresos para la empresa.

1.2.2.4 Optimización de Costos: La implementación de procesos de reciclaje puede reducir costos asociados a la gestión de residuos y disminuir el gasto en materias primas al reutilizar materiales existentes.

1.2.2.5 Evaluación Financiera Positiva: Al realizar una evaluación económica completa, CCU puede garantizar que la inversión en este subproceso sea rentable y que los beneficios superen los costos operativos y de inversión.

1.2.3 Beneficios Sociales

1.2.3.1 Creación de Empleo: La implementación del subproceso requerirá personal para operar la maquinaria, realizar la gestión de residuos y llevar a cabo la producción, lo que puede generar nuevos empleos en la comunidad.

1.2.3.2 Responsabilidad Social Corporativa: Al adoptar prácticas sostenibles, CCU puede mejorar su imagen pública y reputación, lo que puede fortalecer las relaciones con clientes, proveedores y comunidades locales.

1.2.3.3 Conciencia Ambiental: Este subproceso puede servir como un modelo para otras empresas, fomentando una mayor conciencia sobre la importancia del reciclaje y la sostenibilidad en la industria.

1.2.4 Beneficios Técnicos

1.2.4.1 Innovación Tecnológica: La investigación y selección de maquinaria adecuada para el subproceso impulsará la innovación y la mejora continua dentro de la empresa.

1.2.4.2 Mejora en la Eficiencia Operativa: A través de la simulación en Bizagi, CCU podrá identificar ineficiencias y optimizar procesos antes de la implementación, lo que puede mejorar la productividad y reducir tiempos de inactividad.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Evaluar la factibilidad técnica y económica de integrar un nuevo subproceso en la planta circular de CCU para la producción de hilo plástico a partir de residuos plásticos, con el fin de diversificar la línea de productos y fomentar la economía circular.

1.3.2 Objetivo Específicos

1.3.2.1 Realizar un diagnóstico de la gestión de residuos plásticos en la planta circular de CCU, para determinar volúmenes y tipos de residuos, así como el impacto ambiental y económico.

1.3.2.2 Diseñar un nuevo subproceso de fabricación para transformar botellas plásticas en hilo plástico,

1.3.2.3 Simular la implementación del subproceso propuesto, bajo diferentes escenarios.

1.3.2.4 Evaluar técnicamente la viabilidad del subproceso.

1.3.2.5 Realizar una evaluación económica del subproceso.

1.4 Alcances y limitaciones

1.4.1 Alcances

El alcance de este trabajo de tesis se enfoca en la evaluación técnica y económica de un subproceso propuesto para la transformación de residuos plásticos descartados en hilo plástico tipo zuncho, dentro de la planta Plasco de CCU. El estudio contempla el modelamiento detallado del subproceso utilizando el software Bizagi, así como su simulación bajo distintos escenarios operativos, considerando variables como eficiencia energética, requerimientos de maquinaria, personal, y volumen de producción. A nivel económico, se proyectan los flujos financieros a cinco años, incluyendo análisis de ingresos, costos y rentabilidad, considerando únicamente el Impuesto a la Renta y excluyendo otros tributos o externalidades.

El estudio llegará hasta el análisis y evaluación del diseño propuesto del subproceso, sin avanzar a la etapa de implementación física o pruebas piloto en terreno, por lo que los resultados deben interpretarse como una base teórica para la toma de decisiones estratégicas. Además, si bien las recomendaciones están formuladas para la planta Plasco, su aplicabilidad en otras instalaciones o contextos industriales podría requerir adaptaciones técnicas y

económicas adicionales, debido a diferencias en infraestructura, capacidades operativas o regulaciones locales.

1.4.2 Limitaciones

Una de las principales limitaciones enfrentadas durante el desarrollo de este trabajo fue la falta de acceso a información detallada proveniente directamente de la planta Plasco de CCU, debido a restricciones de confidencialidad y políticas internas de la empresa respecto al resguardo de datos estratégicos.

CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE

2.1 Economía Circular y Reciclaje de Plásticos

El concepto de economía circular se ha vuelto fundamental en las estrategias de sostenibilidad, especialmente en la gestión de residuos plásticos. Según Geissdoerfer et al. (2017), la economía circular se basa en los principios de cerrar el ciclo de vida de los productos mediante el reciclaje y la reutilización, en lugar de seguir el modelo tradicional de economía lineal que implica producción, consumo y eliminación. La implementación de este modelo en la industria del plástico permite la creación de productos a partir de residuos, minimizando así el impacto ambiental y fomentando un uso más sostenible de los recursos.

Este enfoque es directamente aplicable a la planta circular de CCU, que busca transformar botellas plásticas desechadas en hilo plástico. Al adoptar prácticas de economía circular, CCU no solo contribuye a la reducción de residuos, sino que también integra un modelo de producción más sostenible que puede servir de ejemplo en la industria de bebidas. (Geissdoerfer, M., et al. (2017). "The circular economy—A new sustainability paradigm?" Journal of Cleaner Production.)

2.2 Producción de Hilo Plástico a partir de Residuos

El reciclaje de botellas plásticas para la producción de hilo plástico es un proceso que ha ganado interés en los últimos años debido a su potencial para reducir el volumen de residuos plásticos y crear productos de valor añadido. Geyer et al. (2020) examinan la viabilidad económica de este proceso, destacando que el reciclaje de botellas PET no solo disminuye la cantidad de residuos en los vertederos, sino que también permite la producción de materiales reutilizables que pueden ser integrados en nuevas cadenas de valor.

El proceso descrito por Geyer et al. es directamente relevante para la tesis, ya que la planta circular de CCU tiene como objetivo implementar un subproceso para convertir botellas desechadas en hilo plástico. Este enfoque no solo apoya la reducción de residuos, sino que también puede abrir nuevas oportunidades de mercado para la empresa, diversificando su

línea de productos. (Geyer, R., et al. (2020). "Production, use, and fate of all plastics ever made." Science Advances.)

2.3 Viabilidad Técnica de Nuevos Subprocesos

La implementación de nuevos subprocesos en plantas industriales para el reciclaje de plásticos requiere una evaluación técnica exhaustiva. Según Leal Filho et al. (2019), es crucial identificar las tecnologías adecuadas para cada etapa del proceso de reciclaje, desde la recolección de residuos hasta la producción final de productos reciclados. El análisis técnico debe incluir la selección de maquinaria, la optimización de procesos y la capacitación del personal, todo con el objetivo de maximizar la eficiencia y minimizar los costos operativos.

En el caso de CCU, la viabilidad técnica de crear un subproceso para convertir residuos plásticos en hilo zuncho depende de una planificación cuidadosa y de la integración de tecnologías avanzadas. Este análisis es fundamental para asegurar que el subproceso no solo sea sostenible, sino también rentable a largo plazo. (Leal Filho, W., et al. (2019). "Sustainability and sustainable development in the plastic industry." Journal of Cleaner Production.)

2.4 Impacto Económico y Social del Reciclaje

El reciclaje de plásticos no solo tiene beneficios ambientales, sino que también puede generar impactos económicos y sociales positivos. Hopewell et al. (2020) analizan cómo las industrias que adoptan prácticas de reciclaje pueden reducir sus costos operativos, aumentar su competitividad y contribuir al desarrollo de economías locales a través de la creación de empleo. Además, el reciclaje fomenta la innovación en la producción de nuevos materiales y productos, lo que puede ser un diferenciador competitivo clave.

La implementación del subproceso de reciclaje de plásticos en la planta circular de CCU no solo tiene el potencial de mejorar la rentabilidad de la empresa, sino también de posicionarla como un líder en innovación sostenible dentro de la industria de bebidas. Este impacto económico y social es un argumento clave para la adopción de prácticas de economía circular

en CCU. (Hopewell, J., et al. (2020). "Plastics recycling: challenges and opportunities." Philosophical Transactions of the Royal Society B.)

2.5 Indorama Ventures y la Economía Circular

Indorama Ventures se ha consolidado como un líder en la producción de hilo de poliéster reciclado a partir de botellas plásticas. Su modelo de negocio se centra en la economía circular, donde los residuos plásticos son transformados en productos reutilizables, como hilos que se utilizan en la fabricación de textiles. La compañía ha invertido significativamente en tecnologías avanzadas de reciclaje, que permiten mejorar la calidad del PET reciclado, haciéndolo apto para aplicaciones de alta demanda, como la moda y la industria automotriz. Este enfoque no solo contribuye a la reducción de desechos, sino que también crea valor añadido al reciclar materiales que de otro modo terminarían en vertederos (Indorama Ventures, 2023). (Indorama Ventures. (2023). Sustainability Report. Recuperado de Indorama Ventures Sustainability)

2.6 Patagonia y la Sostenibilidad en la Moda

Patagonia ha sido pionera en la implementación de hilo de PET reciclado en su línea de productos de ropa outdoor. La empresa utiliza botellas plásticas recicladas para crear su hilo de poliéster, el cual es una parte esencial en la producción de sus prendas. Este enfoque no solo reduce la dependencia de recursos vírgenes, sino que también fomenta un modelo de negocio responsable que se alinea con los valores de sostenibilidad y ética de la marca. Patagonia también promueve la transparencia en su cadena de suministro, alentando a otros en la industria a adoptar prácticas similares. Su compromiso con la sostenibilidad ha establecido un estándar en la industria textil, inspirando a otras marcas a seguir su ejemplo (Patagonia, 2023). (Patagonia. (2023). Our Footprint. Recuperado de Patania Sustainability)

2.7 Unifi y la Innovación Textil

Unifi, Inc. ha desarrollado el hilo REPREEVE, fabricado a partir de botellas plásticas recicladas, lo que representa una innovación significativa en el ámbito textil. Este hilo se ha convertido en una opción popular para marcas que buscan productos sostenibles, y se utiliza

en una variedad de aplicaciones, desde ropa hasta productos de hogar. Unifi ha trabajado en colaboración con importantes marcas de moda para integrar REPREVE en sus colecciones, lo que ha aumentado la visibilidad y aceptación del hilo reciclado en el mercado. Su enfoque en la sostenibilidad ha permitido que Unifi no solo mejore su línea de productos, sino que también contribuya a una reducción significativa de desechos plásticos en el medio ambiente (Unifi, 2023). (Unifi, Inc. (2023). *REPREVE*. Recuperado de Unifi)

2.8 Producción de Nuevos Productos con Acero en AZA

La empresa AZA se ha posicionado como un referente en el uso de acero reciclado para la producción de nuevos productos, alineándose con las tendencias de sostenibilidad y economía circular. Según AZA (2023), la utilización de acero reciclado no solo disminuye la necesidad de materias primas vírgenes, sino que también reduce significativamente la huella de carbono asociada con la producción de acero nuevo. Este enfoque responde a la creciente demanda de productos que cumplan con criterios ambientales más estrictos.

(AZA. (2023) . "Sostenibilidad y Acero Reciclado.")

En su análisis sobre el uso de acero reciclado, López et al. (2021) destacan que la implementación de tecnologías innovadoras en la producción de acero ha permitido a empresas como AZA mejorar la calidad y la eficiencia de sus procesos. Esto no solo se traduce en una reducción de costos, sino también en un aumento de la competitividad en el mercado. La investigación subraya la importancia de adoptar métodos de producción sostenibles para satisfacer las expectativas de los consumidores modernos, que cada vez valoran más el compromiso ambiental de las empresas. (López, J., et al. (2021). "Innovaciones en la Producción de Acero Reciclado." *Revista de Ingeniería y Tecnología*.)

CAPÍTULO 3: MARCO TEÓRICO

3.1 Subproceso

En el ámbito industrial, el concepto de subproceso se refiere a un conjunto específico de actividades o etapas dentro de un proceso más amplio, que se enfoca en realizar una función particular o en transformar un material determinado en un producto intermedio o final. Un subproceso se integra dentro de un proceso principal y se caracteriza por su especialización en una parte del ciclo productivo, contribuyendo al cumplimiento de los objetivos globales de la producción.

El subproceso se distingue del proceso principal por su nivel de detalle y por el hecho de que su correcta ejecución es esencial para garantizar la eficiencia, calidad, y viabilidad económica del producto final. Cada subproceso debe ser cuidadosamente diseñado, implementado, y gestionado para asegurar que se optimicen los recursos, se minimicen los residuos, y se cumplan los estándares de calidad establecidos.

En el caso específico de la transformación de residuos plásticos en hilo plástico, el subproceso incluiría todas las actividades necesarias para convertir las botellas desechadas en un nuevo producto. Esto podría abarcar la recolección y clasificación de materiales, la limpieza y esterilización de los plásticos, la selección de maquinaria adecuada, la gestión del consumo energético, y la planificación del personal y la cadena de suministro.

(Eds Robotics. (n.d.). ¿Qué es el proceso industrial? Eds Robotics.)

3.2 Reproceso

El reproceso se refiere a un conjunto de técnicas y procedimientos mediante los cuales los materiales desechados se transforman de nuevo en productos utilizables o en materias primas para nuevos procesos de producción. En un contexto técnico, el reproceso puede involucrar operaciones mecánicas, químicas o térmicas, con el objetivo de recuperar y reutilizar materiales que de otro modo serían considerados como desechos. Este proceso es esencial en la industria para maximizar el uso de recursos, reducir residuos y mejorar la eficiencia productiva, asegurando que los materiales recuperados cumplan con las normas y criterios

de calidad necesarios para su reutilización. (Mapex. (n.d.). Cómo reducir los reprocesos con Mapex.)

3.3 Modelos As Is y To Be

El Mapeo de procesos AS IS / TO BE es una herramienta de gestión que ayuda en la descripción y la mejora de los procesos internos de la organización. Se dedica a la exploración del negocio de la empresa a través de metodologías y prácticas utilizadas en las actividades del día a día. Estos modelos son herramientas que permiten representar y analizar dos estados diferentes de un proceso:

Modelo As Is: Representa el estado actual del proceso, describiendo en detalle todas las actividades, flujos de trabajo, recursos utilizados, y relaciones entre los elementos del proceso. Este modelo sirve como base para identificar áreas de mejora, ineficiencias y problemas operativos, proporcionando una visión clara de cómo funciona el proceso en su forma actual.

Modelo To Be: Define el estado futuro deseado del proceso después de implementar las mejoras identificadas en el modelo As Is. Su diseño busca optimizar el proceso, mejorando la eficiencia operativa, reduciendo costos, cumpliendo con normativas y estándares, e incorporando nuevas tecnologías o prácticas más efectivas. Este modelo establece el objetivo hacia el cual se deben dirigir los esfuerzos de optimización, asegurando que el proceso evolucione de manera alineada con los objetivos estratégicos de la organización. (Neomind. (2024). ¿Qué es el mapeo de procesos AS IS / TO BE?)

Tabla 1: Dimensiones As is y To Be

DIMENSIONES	AS IS	TO BE
Condiciones del proceso	Reciente.	Esperado.
Perspectiva	Evaluación del estado actual.	Elaboración de mejoras futuras.
Objetivo	Determinar ineficiencias y problemas vigentes.	Incrementar la efectividad y lograr objetivos futuros.
Recursos	Documentación, Diagramas de flujo.	Simulación, Análisis de capacidad.
Conclusiones	Descripción completa del estado actual.	Diseño del proceso optimizado.
Ejecución	Evaluación rigurosa y detección de mejoras.	Aplicación de modificaciones y mejoras sugeridas.

3.4 Residuos Plásticos

El término plástico se refiere a varios tipos de polímeros; materiales compuestos de moléculas orgánicas de alto peso molecular que derivan, usualmente, del petróleo. Se genera un residuo de plástico cuando cualquier elemento fabricado a partir de este material es descartado por su poseedor al no encontrarle valor o utilidad. Una de las características más notorias de los residuos plásticos es su larga duración. El tiempo de descomposición depende del tipo de plástico que se trate, el tamaño del residuo y el proceso de degradación asociado. Los mecanismos de degradación pueden ser biológicos, de oxidación o de foto-oxidación, entre otros. En general, los plásticos tardan al menos 100 años en descomponerse. (Organización Panamericana de la Salud. 2023, August 16)

Ilustración 1: Clasificación internacional de los residuos plásticos.

Sigla	Nombre	Código de reciclaje	Usos y aplicaciones
PET	Poliétileno tereftalato	1	Botellas para bebidas, aceite y otros alimentos.
PEAD/HDPE	Poliétileno de alta densidad	2	Envases y botellas para productos de limpieza. Membranas impermeabilizantes.
PVC	Policloruro de vinilo	3	Cañerías, electrónica.
PEBD/LDPE	Poliétileno de baja densidad	4	Bolsas, separadores, guantes.
PP	Polipropileno	5	Tapas de botellas,
PS	Poliestireno	6	Vasos y recipientes para alimentos, aislantes.
-	Otros	7	Comprende: policarbonato (PC), nailon, acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), entre otros.

Fuente: Políticas Públicas UNCuyo. (n.d.). Generación de residuos de plástico [Imagen]. Recuperado de <http://www.politicaspublicas.uncu.edu.ar/articulos/index/generacion-de-residuos-de-plastico-la-importancia-de-la-prevencion>.

Los residuos plásticos juegan un papel crucial debido a su omnipresencia en nuestra sociedad contemporánea y al impacto ambiental que generan. Aunque los plásticos han sido una innovación esencial en diversas industrias, mejorando significativamente nuestra calidad de vida, su uso desmedido y la inadecuada gestión de sus desechos han ocasionado serios problemas ambientales. Estos desafíos afectan tanto a los ecosistemas terrestres como marinos, ponen en peligro la biodiversidad, comprometen la salud humana y representan un desafío económico a nivel mundial. Según Sánchez (2023), "El incremento en el consumo de plásticos, especialmente de un solo uso, es alarmante. La producción de botellas, vasos y empaques alimenticios contribuye a una contaminación visible en ríos y lagos, lo que amenaza tanto al medio ambiente como a la salud humana".

A pesar de los obstáculos, una gestión eficiente de los residuos plásticos puede abrir importantes oportunidades para la innovación y ofrecer ventajas competitivas. Tal como menciona De La Cerda (2022), "Hay empresas interesadas que están viendo opciones de retornabilidad a través de esta nueva ley y queriendo cooperar, ya que esto va a traer cambios en la producción y venta. Los productores de alimentos y bebidas van a tener que preocuparse de contar con modelos de logística y de entrega de sus productos que fomentan la reutilización y cambiar los envases que tenían a otro tipo de soluciones compostables". (Cámara de Comercio de Santiago. 2022, March 15)

3.5 Proceso de residuos plásticos

El proceso de residuos plásticos es una aplicación específica del concepto de proceso general. Este procedimiento es esencial para una gestión sostenible de los residuos plásticos, ya que convierte los desechos en nuevos productos o materias primas a través de distintas técnicas. Esta transformación es crucial para reducir la acumulación de residuos plásticos en el medio ambiente y para optimizar el uso de los recursos.

Los residuos de plástico suelen reciclarse de forma mecánica. El objetivo es triturar y compactar el material para reutilizarlo en la fabricación de nuevos envases plásticos. A veces son las propias empresas las que gestionan el tratamiento de los residuos de plástico que producen, aunque generalmente éstos se depositan en plantas especializadas.

Las fases del proceso de reciclaje de los residuos plásticos mecánico son:

- **Triturado:** consiste en cortar las piezas en pequeños granos para posteriormente tratarlos.
- **Lavado:** tanto para eliminar impurezas como para separar los diferentes plásticos por densidad. El lavado es especialmente importante en residuos postconsumo y se realiza en grandes tanques.
- **Centrifugado y secado:** son etapas críticas en el proceso de reciclaje de plásticos. En el centrifugado, una máquina gira a alta velocidad para separar el agua del plástico mediante fuerza centrífuga. Posteriormente, en la etapa de secado, se aplica calor o aire para eliminar la humedad residual, dejando el plástico completamente seco y listo para su procesamiento posterior.
- **Granceado:** mediante este proceso se consigue homogeneizar el material mediante fundición, tintado y corte del plástico en pequeños trozos.
- **Extrusión:** consiste en prensar el material, por flujo continuo de presión y empuje, para pasarlo a un molde donde adquirirá la forma deseada. (SMV. (n.d.). ¿Cómo realizar un correcto tratamiento de residuos plásticos?.)

El tratamiento de los residuos plásticos también puede realizarse de forma química. Este proceso consiste en degradar el material plástico mediante calor o catalizadores hasta romper las macromoléculas que lo forman y conseguir moléculas más sencillas (monómeros), para fabricar otros plásticos. Las formas más importantes de hacerlo son:

- **Gasificación:** es una tecnología de conversión que transforma cualquier material que contenga carbono, como el carbón o los propios plásticos, en gas de síntesis haciendo uso de altas temperaturas (por encima de 700 °C) y con una cantidad controlada de oxígeno para que el material reaccione sin combustión. (AIMPLAS. (n.d.). Método termoquímico para el tratamiento sostenible de residuos.)

- **Pirólisis:** es un proceso termoquímico que involucra la descomposición térmica de materiales orgánicos en ausencia de oxígeno o con un suministro limitado de oxígeno.
- **Hidrogenación:** es un proceso químico que transforma residuos plásticos en productos más útiles o en materias primas reutilizables. Este proceso consiste en añadir hidrógeno a las cadenas de polímeros plásticos bajo condiciones controladas de temperatura y presión, generalmente con la ayuda de un catalizador.
- **Cracking:** es un proceso químico que descompone grandes moléculas de polímeros plásticos en moléculas más pequeñas, como hidrocarburos, mediante la aplicación de calor y presión, a menudo con un catalizador. Este proceso convierte residuos plásticos en productos útiles, como combustibles líquidos o materias primas reutilizables.
- **Disolventes:** disolventes son sustancias químicas que se emplean para disolver polímeros, permitiendo la recuperación de los materiales básicos. Este proceso facilita la reutilización de plásticos en la producción de nuevos productos, especialmente aquellos que son difíciles de reciclar por métodos convencionales. (AIMPLAS. (n.d.). Método termoquímico para el tratamiento sostenible de residuos.)

El tratamiento de los residuos plásticos térmicos, consiste en la descomposición a alta temperatura de los residuos plásticos, donde los componentes orgánicos son convertidos hasta romper los enlaces de la cadena polimérica, en productos de refinería de alta calidad como aceite crudo o gas. Una de sus ventajas es la posibilidad de tratar plásticos heterogéneos y contaminados que no permiten pretratamiento previo.

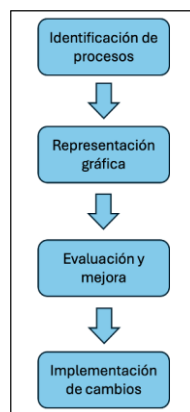
- **Gasificación parcial:** la combustión directa de residuos poliméricos, que tiene un buen poder calorífico, puede ser perjudicial para el medio ambiente debido a la producción de sustancias nocivas tales como óxidos de azufre y dioxinas. Sin embargo, la oxidación parcial (usando oxígeno y/o vapor) podría generar una mezcla de hidrocarburos y gas de síntesis (CO y H₂), dependiendo la cantidad y calidad del tipo de polímero utilizado.

- **Craqueo térmico o pirólisis:** involucra la degradación del material plástico por calentamiento en la ausencia de oxígeno, en un rango de temperatura entre 500 a 800°C con la formación resultante de carbón y una fracción volátil que puede separarse en aceite y un gas no condensable de alto valor calorífico. (Plastics Technology México. (n.d.) , Rutas opcionales para el reciclado de materiales plásticos.)

3.6 Modelamiento del proceso

El modelamiento de los procesos de negocio es una técnica que se utiliza para documentar, diseñar y optimizar los procesos de su compañía. Modelar los procesos proporcionan una representación visual de las etapas y el flujo de un proceso que tanto las partes interesadas técnicas como las no técnicas comprenden fácilmente y ayudan a las organizaciones a comunicar los procesos oficiales, mejorar las operaciones y planificar los proyectos de automatización de los procesos del negocio.

Ilustración 2: Modelamiento de un proceso



El diseño del proceso se realiza en varias fases:

1. **Identificación de Procesos:** Se reconocen y registran todos los pasos involucrados en el reproceso de residuos plásticos, como la recolección, clasificación, limpieza, triturado, descontaminación, extrusión, peletización y transporte.
2. **Representación Gráfica:** Usando herramientas como diagramas de flujo, esquemas de procesos y modelos BPMN (Business Process Model and Notation), se elabora una

representación gráfica que muestra cómo se interrelacionan y coordinan las diferentes etapas del proceso.

3. **Evaluación y Mejora:** Se examinan los modelos para detectar cuellos de botella, ineficiencias, tiempos de ciclo largos u otras áreas que requieran optimización. Se utilizan técnicas como simulaciones, análisis de capacidad y estudios de sensibilidad para explorar diferentes escenarios y oportunidades de mejora.

4. **Implementación de Cambios:** A partir de los hallazgos del análisis, se diseñan e incorporan mejoras en el proceso, que pueden incluir modificaciones en el diseño, incorporación de nuevas tecnologías, optimización de recursos o mejoras en la gestión de la cadena de suministro. (Bizagi. (n.d.). Modelamiento de procesos)

3.7 BPMN

El Business Process Model and Notation (BPMN) es una notación gráfica estandarizada que representa la secuencia de actividades dentro de los procesos empresariales y los intercambios de mensajes entre participantes. Basada en la técnica de "Flow Chart", herramienta gráfica que representa visualmente un proceso o un algoritmo, BPMN facilita la creación de Diagramas de Procesos de Negocio (BPD), que sirven como referencia única en la práctica de la gestión de procesos de negocio (BPM). Esta disciplina abarca el modelado, automatización, ejecución, control, medición y optimización de flujos de actividades para alcanzar los objetivos empresariales, integrando sistemas, empleados, clientes y socios tanto internos como externos a la organización. (Chakray. (n.d.). ¿Qué es el BPMN y para qué sirve?)

Con esta práctica las empresas intentan introducir la gestión por procesos como una práctica que les permita una mejora continua y poder así, cumplir con las exigencias del negocio y de sus clientes.

Los objetivos del BPM son:

- **Lograr o mejorar la agilidad de negocio:** dar mayor capacidad a una organización para adaptarse a los cambios del entorno a través de los cambios en sus procesos integrados.

- **Conseguir mayor eficacia:** mejorar la capacidad de una organización para lograr los objetivos estratégicos o de negocio.
- **Mejorar los niveles de eficiencia:** aumentar el grado de productividad en cuanto a calidad, costos y tiempos. (Concepto de. (n.d.). Flujograma)

Los diagramas BPMN se componen de diversos elementos que representan actividades, eventos, flujos de secuencia, decisiones y participantes en un proceso de negocio. A continuación, se describen algunos de los elementos clave:

- **Actividades:** Representan las tareas o acciones realizadas en el proceso. Pueden ser de tipo tarea (Task), subproceso (Sub-process), o proceso global (Global Process).
- **Eventos:** Indican el comienzo, fin o algún cambio en el flujo del proceso. Se dividen en eventos de inicio (Start Event), eventos intermedios (Intermediate Event) y eventos de fin (End Event).
- **Flujos de Secuencia:** Conectan los elementos del proceso y muestran la secuencia en la que se ejecutan las actividades. Pueden ser flujos secuenciales (Sequence Flow) o flujos condicionales (Conditional Flow).
- **Decisiones:** Representan puntos en el proceso donde se toman decisiones basadas en condiciones definidas. Se utilizan compuertas (Gateways) para modelar rutas de flujo divergentes o convergentes.
- **Participantes:** Representan roles, organizaciones o sistemas externos que participan en el proceso. Se utilizan para modelar colaboraciones entre distintas entidades.

BPMN facilita la comprensión y comunicación de procesos complejos mediante la estandarización de símbolos y reglas de modelado. Los diagramas BPMN permiten:

- **Documentación:** Capturar y documentar visualmente los procesos de negocio de manera clara y concisa.
- **Análisis y Optimización:** Identificar ineficiencias, cuellos de botella y áreas de mejora en los procesos existentes.
- **Implementación y Automatización:** Servir como base para la implementación de sistemas de gestión de procesos (BPM) y la automatización de flujos de trabajo.
(Aguilera, Coch, Stevens, 2024)

3.8 Simulación

La simulación de procesos industriales se define como el uso de modelos informáticos para probar virtualmente los métodos y procedimientos de fabricación, incluidos procesos como la producción, el montaje, el inventario y el transporte.

Una simulación imita el funcionamiento de los procesos o sistemas del mundo real con el uso de modelos. El modelo representa los comportamientos y las características clave del proceso o sistema seleccionado, mientras que la simulación representa cómo evoluciona el modelo en diferentes condiciones a lo largo del tiempo.

La necesidad de eficiencia en la industria manufacturera nunca ha sido mayor, ya que los costes de material, transporte y mano de obra siguen aumentando cada año. Las empresas de éxito necesitan asegurarse de que los costes asociados al tiempo, los equipos y otras inversiones se tienen en cuenta y se optimizan.

En esencia, la simulación de procesos productivos es una forma barata y sin riesgos de probar cualquier cosa, desde simples revisiones hasta rediseños completos, siempre con el objetivo de cumplir los objetivos de producción al menor coste posible.

La simulación de procesos industriales ofrece varios beneficios clave, principalmente en términos de ahorro de costes y mejora del conocimiento del proceso. Los principales beneficios son:

- **Flexibilidad:** Permite simular una amplia gama de operaciones, desde la gestión de la cadena de suministro hasta la logística, aplicable a diversas industrias.
- **Prueba de sistemas complejos:** Facilita la simulación de escenarios complicados, sin importar la complejidad del sistema.
- **Separación de la realidad:** Genera información extensa sin afectar el sistema real, lo que es crucial para operaciones a gran escala y reduce riesgos al probar cambios antes de implementarlos.
- **Análisis de escenarios hipotéticos:** Ayuda a entender operaciones pasadas y a crear inteligencia empresarial al generar conocimientos teóricos aplicables en el futuro.
- **Impacto de variables interrelacionadas:** Permite estudiar cómo diferentes factores afectan las operaciones, proporcionando información valiosa para la toma de decisiones.
- **Comprensión rápida de largo plazo:** Ofrece datos sobre períodos extensos, como un año, en un tiempo mucho más corto, facilitando la toma de decisiones rápida.
- **Prueba de complicaciones:** Permite probar nuevas máquinas o procesos y detectar posibles problemas antes de su implementación real. (Aula 21. (n.d.). ¿Qué es la simulación de procesos industriales?)

3.9 Viabilidad Técnica – Económica

La viabilidad técnica se refiere a los recursos necesarios como herramientas, conocimientos, habilidades, experiencia, etc., que son necesarios para efectuar las actividades o procesos que requiere el proyecto. La viabilidad económica se refiere a los recursos económicos y financieros necesarios para desarrollar o llevar a cabo las actividades o procesos y/o para obtener los recursos básicos que deben considerarse.

Un estudio de viabilidad requiere ser presentado con todas las posibles ventajas para la empresa, organización o inversionistas, pero sin descuidar ninguno de los elementos necesarios para que el proyecto funcione. Para esto dentro de los estudios de viabilidad se complementan dos pasos importantes en la presentación del estudio:

- **Requisitos Óptimos:** se refiere a presentar un estudio con los requisitos óptimos que el proyecto requiera, estos elementos deberán ser los necesarios para que las actividades y resultados del proyecto sean obtenidos con la máxima eficacia.
- **Requisitos Mínimos:** consiste en un estudio de requisitos mínimos necesarios que el proyecto debe tener para cumplir las metas y objetivos, este paso trata de hacer uso de los recursos disponibles de la empresa para minimizar cualquier gasto o adquisición adicional.

Un estudio de factibilidad debe representar gráficamente los gastos y los recursos disponibles de la empresa o los inversionistas para minimizar cualquier gasto o adquisición adicional. Cabe mencionar que dentro de un análisis de factibilidad un punto importante se desprende del análisis económico, ya que, de acuerdo a Sánchez (2008) “un sistema puede ser factible desde el punto de vista técnico y operacional, pero si no es factible económicamente para la organización o inversionistas, no puede ser implantado”. (Universidad de Sonora. (n.d.) Capítulo 3: Modelado y simulación de sistemas de manufactura. Tesis Digital)

3.10 Economía Circular

La economía circular es un modelo de producción y consumo diseñado para maximizar el valor de los productos, materiales y recursos a lo largo de su ciclo de vida, promoviendo un uso continuo y eficiente. Este enfoque implica la práctica de compartir, alquilar, reutilizar, reparar, renovar y reciclar productos y materiales existentes tantas veces como sea posible, con el fin de prolongar su utilidad y reducir al mínimo la generación de residuos.

En lugar de desechar los productos al final de su vida útil, la economía circular se enfoca en mantener los materiales en circulación dentro del sistema productivo mediante procesos de reciclaje y recuperación. Esto permite que los materiales sean reutilizados de manera

productiva una y otra vez, generando un valor añadido continuo y contribuyendo a la sostenibilidad ambiental y económica.

Los principios fundamentales de la economía circular se resumen comúnmente en las "3 R":

- **Reducir:** Implica disminuir el consumo de recursos y la generación de residuos, lo cual es esencial para limitar el uso de materias primas y minimizar el impacto ambiental. Esto se puede lograr a través de diversas prácticas, como optar por productos con alta eficiencia energética o participar en plataformas de economía compartida, como el uso de vehículos compartidos.
- **Reciclar:** La idea central de la circularidad es otorgar una nueva vida a los materiales que, de otro modo, serían descartados. Reciclar permite que las materias primas de objetos, maquinaria, o incluso edificios, sean reutilizadas en distintos niveles, desde una simple botella hasta instalaciones industriales completas.
- **Reutilizar:** Similar al reciclaje, pero enfocado en la prolongación del uso de productos o componentes. Un producto que ha llegado al final de su vida útil no se considera un residuo, sino un recurso que puede ser desmontado y readaptado para otros propósitos sin alterar su composición material. (Parlamento Europeo. (2015, December 1). Economía circular: Definición, importancia y beneficios.)

Para ofrecer una visión más completa de la economía circular, se añadieron posteriormente dos "R" adicionales:

- **Regenerar:** En lugar de desechar un objeto dañado, un pequeño ajuste o reparación puede devolverle su funcionalidad. Esta idea no solo se limita a la reparación de productos, sino que también se extiende a la renovación de grandes infraestructuras, aumentando su eficiencia y vida útil.
- **Compostar (Rot):** Este proceso, una forma específica de reciclaje, se centra en los residuos orgánicos, transformándolos en compost o biocombustibles. A diferencia del reciclaje de materiales inorgánicos como plástico, papel o vidrio, el compostaje se aplica a

residuos que pueden reintegrarse en el ciclo natural como fertilizantes. (Enel Green Power. (n.d.). Economía circular: ¿Qué es y cómo funciona?)

CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA

La investigación propuesta para evaluar técnica y económicamente la implementación de un subproceso de transformación de residuos plásticos en hilo plástico en la planta Plasco de CCU se desarrollará bajo una metodología estructurada y secuencial, con un enfoque aplicado de carácter descriptivo y analítico. Esta se compone de cinco etapas, cada una alineada con los objetivos específicos del estudio y orientada a proporcionar resultados sólidos y fundamentados.

4.1 Diagnóstico del Problema y Recolección de Datos:

En esta primera fase se analizó la situación actual del manejo de residuos plásticos en la planta CirCCUlar de CCU, con énfasis en los volúmenes de residuos generados que no son reincorporados al proceso principal. Se revisaron documentos institucionales como la memoria anual de CCU, publicaciones corporativas, y se recopilieron datos de estudios previos relacionados. Esta etapa permitirá identificar las ineficiencias y oportunidades de mejora. Se utilizaron herramientas computacionales como Bizagi para estructurar los procesos actuales y visualizar el flujo de residuos.

4.2 Propuesta de Solución:

Sobre la base del diagnóstico, se diseñó conceptualmente un subproceso destinado a valorizar los residuos plásticos descartados mediante su conversión en hilo plástico tipo zuncho. Para ello, se identificó la maquinaria necesaria, el consumo energético proyectado, la cantidad de personal requerido y los proveedores potenciales. Esta propuesta se modeló en Bizagi para representar gráficamente cada fase del proceso, garantizando claridad operativa y facilitando su posterior simulación.

4.3 Simulación del Subproceso Propuesto:

Una vez modelado el subproceso, se realizó una simulación utilizando Bizagi en distintos escenarios (optimista, normal y pesimista), considerando variables como eficiencia energética, tiempo de procesamiento, y carga de trabajo del personal. Esto permitió anticipar posibles cuellos de botella, analizar el rendimiento operativo esperado y realizar ajustes para maximizar la viabilidad técnica.

4.4 Evaluación Técnica:

En esta fase se determinó si la infraestructura actual de la planta es compatible con el nuevo subproceso. Se comparó tecnologías disponibles en el mercado en cuanto a eficiencia, durabilidad y costo, seleccionando las más adecuadas para el contexto de CCU. Aunque no se realizó pruebas físicas, se consideró referencias de fabricantes y estudios técnicos para estimar el comportamiento esperado de la maquinaria.

4.5 Evaluación Económica:

Finalmente, se realizó un análisis económico a cinco años, considerando inversión inicial, costos de operación, ingresos proyectados y tasas de crecimiento en diferentes escenarios. Se utilizaron herramientas como Microsoft Excel para construir flujos financieros y aplicar criterios de evaluación como el Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y el cálculo del valor residual. Los precios de insumos, maquinaria y producto final son estimados a partir de fuentes secundarias confiables, como catálogos de proveedores y estudios del mercado del reciclaje.

CAPÍTULO 5: DESARROLLO

5.1 Descripción de la situación actual - Descripción de la empresa

Debido a los altos niveles de contaminación ambiental que enfrentamos globalmente, resulta crucial analizar las iniciativas de empresas comprometidas con la sostenibilidad. Una de estas empresas es CCU, una de las principales productoras de bebidas en Chile y América Latina. CCU se destaca por su enfoque en la sostenibilidad y su compromiso con la reducción del impacto ambiental a través de diversas políticas y prácticas. De esta manera CCU cuenta con una Visión Medioambiental 2030, la cual tiene un alcance regional, involucrando las operaciones en Chile, Argentina, Bolivia, Paraguay y Uruguay.

Esta Visión cuenta con seis metas: (Compañía de Cervecerías Unidas. (2023). Memoria anual CCU)

Ilustración 3: Seis metas de CCU



Fuente: Memoria Anual de CCU 2023

CCU se organiza en dos principales áreas de negocio:

5.2 Bebidas Alcohólicas:

- **Cerveza:** CCU es líder en el mercado cervecero chileno, con una amplia variedad de marcas que incluyen Cristal, Escudo, Royal Guard, Stones, Imperial, Morenita y Dorada. En el ámbito internacional, destacan marcas como Blue Moon, Coors, Heineken y Sol. Además,

CCU comercializa y distribuye marcas artesanales producidas en sus plantas de origen, como Austral, D'Olbek, Guayacán, Kunstmann, Patagonia y Szot.

- **Vinos y Espumantes:** CCU tiene una presencia significativa en la industria del vino, con marcas reconocidas en vinos tintos y rosé como Altaïr, Cabo de Hornos, Casa Rivas, Castillo de Molina, Epica, Gato Negro, Kankana de Elqui, La Celia, Leyda, Misiones de Rengo, Santa Helena, Sideral, Tarapacá, Tierras Moradas y 1865. En la categoría de vinos blancos, se destacan Gato Negro, Las Encinas, Leyda, Misiones de Rengo, Santa Helena, Tarapacá y 1865. También ofrece espumantes bajo marcas como Leyda, Misiones de Rengo, Viñamar, G.H. Mumm y Mumm.

- **Pisco y Licores:** En el segmento de licores, CCU produce y distribuye diversas marcas de destilados. En piscos, destacan Control C, Espiritu de los Andes, Horcón Quemado, La Serena, Mistral y Tres Erres. En cócteles, las marcas incluyen Campanario, Campanario Selección y Sabor Unido Sour. En la categoría Ice, se encuentran Iceberg, Mistral Ice y Sierra Morena Mojito Ice. En gin, destacan Kantal y Beefeater. En ron, las marcas incluyen Havana Club, Malibu y Sierra Morena. En vodka, sobresalen Absolut y Wyborowa, y en whisky, Ballantine 's, Chivas Regal, Jameson, Royal Salute y The Glenlivet. Otros licores incluyen Fehrenberg, Kahlúa, Martell, Olmeca y Ramazzotti.

5.3 Bebidas No Alcohólicas:

- **Refrescos:** CCU ofrece una gama de refrescos con marcas como Bilz y Pap, Canada Dry, Crush, Kem Xtreme, Kem, Limón Soda, Pepsi y 7 Up.

- **Jugos:** CCU ofrece diversas opciones en jugos, incluyendo néctares premium bajo la marca Watt's Selección y néctares con la marca Watt's. En bebidas de fantasía no carbonatadas, destaca la marca Frugo, y en bebidas en polvo, Sprim y Vivo.

- **Aguas:** CCU se ha expandido al mercado de aguas embotelladas, con marcas como Cachantun, Perrier y Porvenir en la categoría de aguas minerales. En purificadas, destacan Manantial y Nestlé Pura Vida, y en saborizadas, Más y Más Woman.

- **Bebidas Energéticas y Deportivas:** CCU también está presente en el mercado de bebidas energéticas y deportivas con marcas como Red Bull, Rockstar y Gatorade. (Compañía de Cervecerías Unidas. (2023). Conócenos. CCU)

CCU ha integrado la economía circular como eje central de su estrategia de sostenibilidad, aplicando principios de reducción, reutilización y reciclaje en toda su cadena productiva. En la planta CirCCUlar, se reutilizan botellas descartadas transformándolas en hilo plástico tipo zunchos, reduciendo así el uso de materias primas vírgenes y el volumen de residuos.

La empresa también promueve el uso responsable de recursos, especialmente agua y energía, mediante la implementación de tecnologías de eficiencia y el uso de energías renovables. Estas acciones permiten no solo reducir la huella ambiental, sino también disminuir costos operacionales.

La innovación es otro pilar fundamental: CCU desarrolla nuevos productos y procesos sostenibles, e innova en la gestión de residuos para maximizar el valor generado a partir de materiales reciclados. Esta estrategia ha contribuido a mejorar su reputación corporativa, cumplir con regulaciones ambientales, fortalecer su relación con clientes y proveedores, y mitigar riesgos ambientales.

El subproceso de reciclaje implementado permite gestionar eficientemente las botellas no reutilizadas, reduciendo su impacto ambiental y reutilizándolas como materia prima para nuevas aplicaciones. Esto refuerza el modelo de economía circular de la empresa, creando un ciclo cerrado de aprovechamiento de materiales.

Desde una perspectiva económica, esta iniciativa ha permitido a CCU diversificar su línea de productos, optimizar recursos y mejorar su rentabilidad, al transformar residuos en un producto con valor comercial. Así, CCU fortalece su compromiso con la sostenibilidad y su competitividad en mercados emergentes enfocados en productos reciclados.

5.4 Propósito y Valores

Su propósito se manifiesta cada vez que se relaciona con una persona y ésta experimenta un encuentro con su organización. La misión es asegurar que esta experiencia siempre sea enriquecedora y contribuya a una vida mejor. Ya sea que la persona sea un consumidor, cliente, proveedor o colega de trabajo, al enfocarse en crear experiencias positivas y significativas, la empresa colabora activamente en fomentar las condiciones para compartir una mejor calidad de vida en conjunto. Reconocen que no es suficiente hacer las cosas bien en el momento presente, sino que es crucial adoptar una perspectiva sustentable y de largo plazo, orientada hacia la construcción de un futuro mejor para todos. (Compañía de Cervecerías Unidas. (2023). Memoria anual CCU)

Los valores de CCU se reflejan en la actitud y disposición con la que se realiza el trabajo, siendo este el distintivo de sus colaboradores y un elemento por el cual desean ser reconocidos. Les complace que esta actitud se manifieste claramente en sus interacciones con otros:

- **Orgullo:** existe un legítimo orgullo por lo que representan y por su historia.
- **Empatía:** se relacionan y colaboran con otros desde el afecto y la confianza mutua.
- **Superación:** se plantean metas ambiciosas, las superan y se adaptan continuamente al mercado.
- **Pasión:** son entusiastas en su labor y disfrutan transmitir ese entusiasmo a los demás.

En 2017, CCU inició una renovación estratégica de su identidad corporativa, adoptando el marco "SER CCU" que refleja sus aspiraciones y compromiso con la creación de valor sostenible. Este marco se centra en un propósito claro: "Nos apasiona crear experiencias para compartir juntos un mejor vivir", guiado por principios como excelencia, integridad, entrega y empoderamiento. (Aguilera, Stevens, Coch, 2024)

5.5 La gestión de residuos plásticos en la planta circular de CCU.

Con el objetivo de dar una segunda vida a las botellas plásticas y reafirmar el compromiso con el crecimiento sostenible del país, CCU puso en marcha “CirCCUlar”, la primera planta en Chile de producción de botellas plásticas recicladas, instalada en la comuna de Renca, región Metropolitana, con una inversión aproximada total de USD 35 millones, la cual permitirá reemplazar el plástico virgen, por uno que ya ha sido utilizado anteriormente, disminuyendo así la cantidad total de este tipo de desechos en el mercado. (Compañía de Cervecerías Unidas. (n.d.). CCU pone en marcha la primera planta de reciclaje de botellas plásticas en Chile)

Esta nueva planta contempla una inversión aproximada de US\$40 millones y aspira a tener una producción de 18 mil toneladas por año de botellas plásticas recicladas, dándoles una nueva vida a 870 millones de éstas. Según estimaciones de la Asociación Nacional de la Industria del Reciclaje (Anir), en Chile se generan, cada año, cerca de 118 mil toneladas de botellas plásticas y solo un 18% se recicla, transformándose en otros productos, tales como bandejas para comida o zunchos.

Según el gerente general de Embotelladora y Transporte CCU, Ffrench-Davis (2024) “Frente a este escenario, CirCCUlar nace como una nueva solución para el país. A través de esta planta, que es la primera en Chile, se inicia el gran desafío de duplicar, triplicar y ojalá cuadruplicar de manera sostenible la recolección de botellas plásticas, evitando su fuga al medioambiente y redefiniéndolas como materias primas fundamentales para fabricar otras botellas”.

La tecnología que caracteriza a la planta permitirá tener una operación más eficiente y amigable con el Medio Ambiente. Por ejemplo, su principal consumo energético será 100% renovable, a partir de un contrato que tiene CirCCUlar con la empresa Colbún. Asimismo, el recurso hídrico que abastecerá la operación de CirCCUlar, provendrá del agua utilizada en los procesos de la embotelladora; y para el año 2025 la planta contará con paneles solares que le permitirán generar energía para devolver al sistema el 15% de su consumo. (Compañía de Cervecerías Unidas. (n.d.). CCU dará una nueva vida a 870 millones de botellas PET al construir innovadora planta).

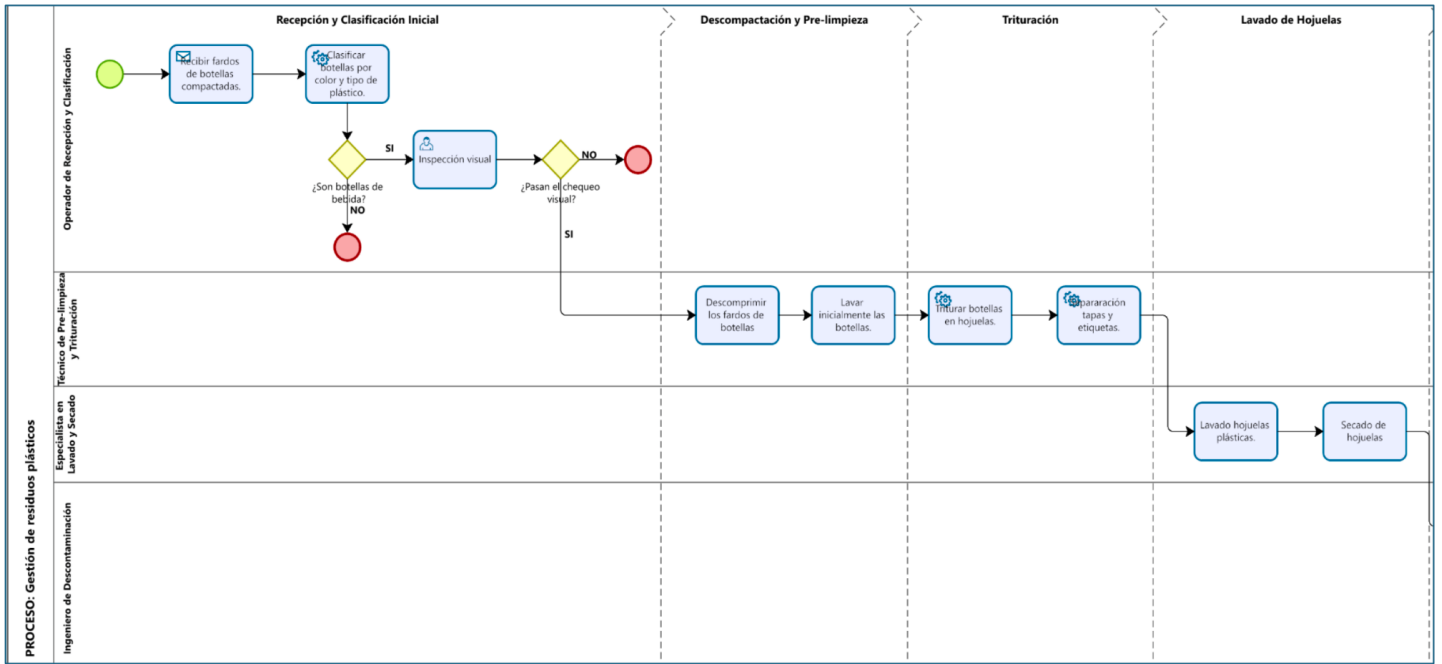
El proceso de reciclaje en la planta CirCCUlar comienza con la recolección de botellas plásticas a través de diversos canales, como puntos de acopio, campañas de reciclaje, y colaboraciones con empresas dedicadas a la gestión de residuos. Estas botellas, una vez recolectadas, siguen un recorrido predefinido que incluye etapas como clasificación, limpieza, y almacenamiento.

Para mejorar este proceso, se propone un análisis detallado de cómo llegan actualmente las botellas a la planta, utilizando el modelamiento "As Is". Este modelamiento permitirá visualizar cada etapa del proceso actual, desde la recolección hasta la preparación para el reciclaje. El objetivo de este análisis es identificar oportunidades de optimización y establecer una base sólida para una propuesta de nueva línea de negocio que utilice las botellas plásticas recicladas.

Mediante el diagrama que representa cómo llegan y son manejadas las botellas en la actualidad, se desarrollará una propuesta de implementación para una nueva línea de negocio. Esta propuesta se apoyará en una simulación que demostrará la viabilidad técnica y económica de transformar las botellas plásticas que cumplen con ciertos criterios en un nuevo producto, como hilo plástico. El modelamiento y la simulación permitirán visualizar el flujo actual y proponer mejoras que podrían llevar a una gestión más eficiente de los residuos plásticos, con el fin de maximizar el valor generado a partir de estos materiales.

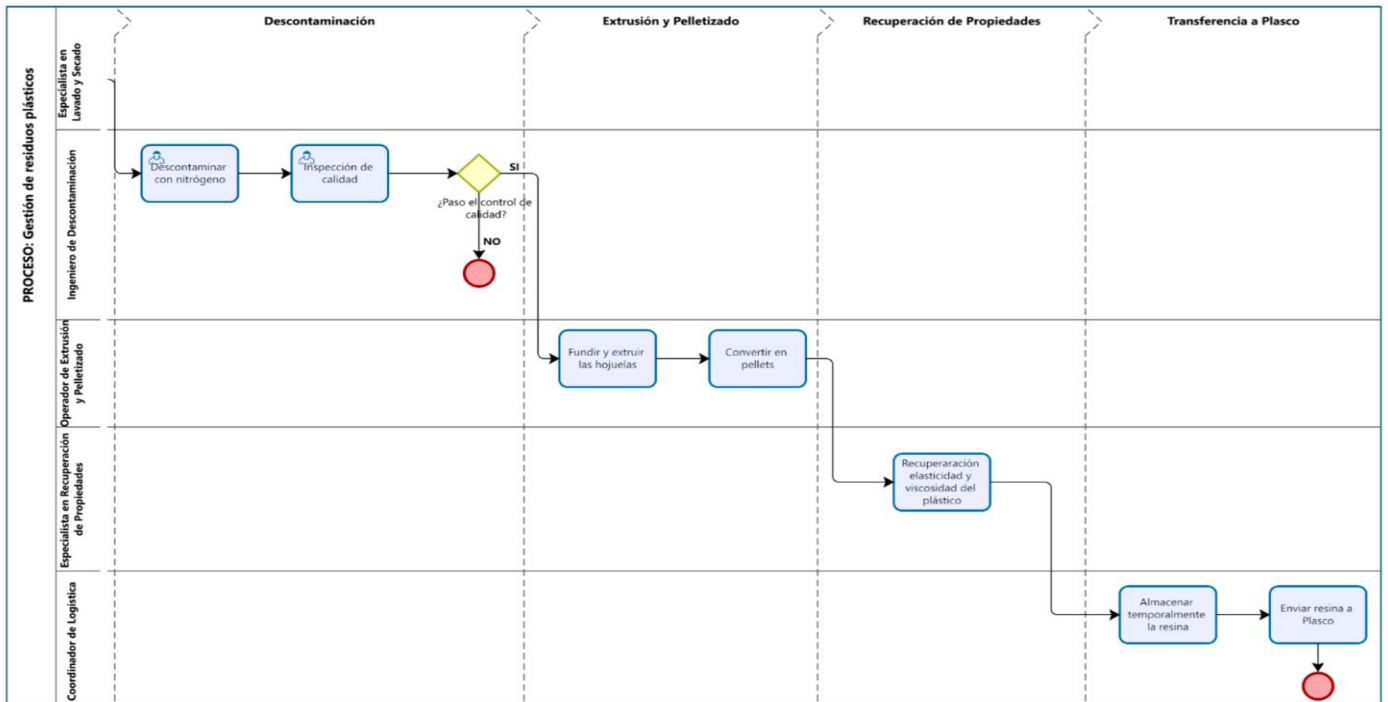
A continuación, se muestra el modelo As Is del proceso de gestión de residuos plásticos que actualmente tiene CCU, dividido en 2 partes:

Ilustración 4: Primera parte modelo As Is del proceso de gestión de residuos plásticos



Fuente: Stevens, Coch, Aguilera. (2024). Reproceso de gestión de residuos plásticos en la empresa Compañía de Cervecerías Unidas (CCU)

Ilustración 5: Segunda parte modelo As Is del proceso de gestión de residuos plásticos



Fuente: Stevens, Coch, Aguilera. (2024). Reproceso de gestión de residuos plásticos en la empresa Compañía de Cervecerías Unidas (CCU)

A continuación, se describirán las distintas etapas del proceso de reciclaje en la planta CirCCUlar de CCU, así como las funciones clave de los operadores en cada una de estas fases.

5.6 Fase 1

5.6.1 Etapa: Recepción y Clasificación Inicial

El proceso en la planta CirCCUlar comienza con la llegada de lotes de botellas compactadas, recolectadas a través de redes de centros de acopio y programas de reciclaje. Una vez ingresadas en la planta, las botellas pasan por un sistema avanzado de clasificación automatizada que las separa según su color y tipo de material. Esta clasificación garantiza que solo se procesen botellas de bebidas, eliminando las que provienen de productos no alimentarios, como detergentes.

5.6.2 Participante: Operador de Recepción y Clasificación

Encargado de manejar la recepción de los lotes de botellas, operar el equipo de clasificación automatizada y realizar inspecciones visuales para asegurar la calidad del material recibido. (ThoughtCo. (n.d.). Plastic recycling process.)

5.7 Fase 2

5.7.1 Etapa: Descompactación y Pre-limpieza

Una vez clasificados, los lotes de botellas son descomprimidos utilizando maquinaria especializada que facilita el manejo individual de cada botella. A continuación, las botellas son sometidas a una pre-limpieza inicial en lavadoras industriales, eliminando así cualquier suciedad superficial o residuos líquidos. Este proceso es clave para garantizar que las botellas estén lo más limpias posible antes de continuar con el reciclaje completo.

5.7.2 Participante: Técnico de Pre-limpieza y Trituración

Responsable de descomprimir los lotes, llevar a cabo la pre-limpieza de las botellas y operar el equipo de trituración para convertirlas en hojuelas de plástico. (Rubicon Global. (n.d.). The plastic recycling process explained.)

5.8 Fase 3

5.8.1 Etapa: Trituración

Las botellas limpias se introducen en un molino especializado que las tritura en pequeñas hojuelas plásticas. Durante esta fase, se separan automáticamente las tapas y etiquetas utilizando tecnología de ciclones y separadores magnéticos. Este proceso maximiza la recuperación de materiales y contribuye al uso eficiente de los recursos, alineándose con los principios de la economía circular. (Recycling Today. (n.d.). Recycling operations & management.)

5.8.2 Participante: Técnico de Pre-limpieza y Trituración

Continuando con su labor, este técnico también se encarga de la trituración y la separación de tapas y etiquetas durante el proceso.

5.9 Fase 4

5.9.1 Etapa: Lavado de Hojuelas

Las hojuelas resultantes se someten a un proceso intensivo de lavado, donde se eliminan contaminantes, adhesivos y otros residuos. Tras el lavado, las hojuelas se secan completamente para prepararlas para la siguiente etapa del proceso de reciclaje.

5.9.2 Participante: Especialista en Lavado y Secado

Encargado de supervisar y manejar el proceso de lavado intensivo y el secado de las hojuelas, garantizando la calidad del material reciclado. (National Geographic. (n.d.). Environmental impact of plastic waste and recycling.)

5.10 Fase 5

5.10.1 Etapa: Descontaminación

Las hojuelas secas son sometidas a un tratamiento de descontaminación que emplea nitrógeno para eliminar cualquier contaminante volátil, incluyendo sabores y olores. Este proceso es seguido de una inspección de calidad para asegurar que las hojuelas cumplen con los estándares requeridos.

5.10.2 Participante: Ingeniero de Descontaminación

Responsable del proceso de descontaminación utilizando nitrógeno y de las pruebas de calidad para garantizar la pureza del material reciclado.

5.11 Fase 6

5.11.1 Etapa: Extrusión y Pelletizado

Las hojuelas descontaminadas se funden y se extruyen en forma de hilos continuos de plástico, que luego son cortados en pequeños pellets. Estos pellets se inspeccionan para asegurar su calidad y consistencia antes de ser utilizados en la producción de nuevos productos plásticos. (Plastics Technology. (n.d.). Pelletizing system and extrusion process.)

5.11.2 Participante: Operador de Extrusión y Pelletizado

Encargado de la operación del equipo de extrusión y la conversión de las hojuelas en pellets, asegurando que estos cumplan con los estándares de calidad. (Apex Plastic Solutions. (n.d.). Plastic extrusion process explained.)

5.12 Fase 7

5.12.1 Etapa: Recuperación de Propiedades

Los pellets resultantes son sometidos a un tratamiento especial que recupera su elasticidad y viscosidad, preparándolos para ser moldeados en nuevas botellas. Este paso es crucial para asegurar que el material reciclado mantenga las propiedades físicas necesarias para su reutilización.

5.12.2 Participante: Especialista en Recuperación de Propiedades

Responsable del tratamiento de recuperación de propiedades de los pellets, asegurando su aptitud para el moldeo de nuevas botellas. (Greenpeace. (n.d.). Sustainability in plastic recycling.)

5.13 Fase 8

5.14.1 Etapa: Transferencia a Plasco

Finalmente, la resina reciclada es almacenada temporalmente antes de ser enviada a la planta Plasco. Allí, se utiliza en la fabricación de nuevas botellas, empleando tecnología avanzada y condiciones técnicas óptimas.

5.14.2 Participante: Coordinador de Logística

Encargado del almacenamiento temporal de la resina y de coordinar su traslado a la planta Plasco para la producción de nuevas botellas.

5.15 Diseño del subproceso de transformación de botellas plásticas en hilo plástico.

El PET (Tereftalato de polietileno) es un tipo de plástico utilizado en botellas de bebidas, envases de alimentos y otros productos de consumo. Afortunadamente, el PET es un material que se puede reciclar y reutilizar, lo que reduce la cantidad de residuos plásticos en vertederos y océanos. El PET, o tereftalato de polietileno, es uno de los plásticos más utilizados en todo el mundo debido a su resistencia, transparencia, ligereza y durabilidad. Sin embargo, su uso excesivo ha llevado a un aumento en la cantidad de residuos plásticos que se generan cada año. Por lo tanto, es importante encontrar formas de reciclar y reutilizar el PET para reducir su impacto en el medio ambiente.

El proceso de reciclaje del PET comienza con la recolección de botellas y envases de PET usados. Estos materiales se clasifican y se separan de otros tipos de plásticos. Luego, se limpian y se trituran en pequeños fragmentos llamados escamas de PET. Estas escamas se funden y se moldean en nuevas formas de PET. La mayoría de las veces, el PET reciclado se utiliza para fabricar nuevas botellas y envases, lo que se conoce como reciclaje cerrado. En este proceso, el PET reciclado se combina con una pequeña cantidad de resina de PET virgen para crear un material que es igual de fuerte y duradero que el PET original. Esto permite que las botellas y envases de PET se reciclen una y otra vez, lo que reduce la cantidad de residuos plásticos que se generan.

Además, el PET reciclado también se puede utilizar en otros productos, como fibras textiles, alfombras, películas para envolver alimentos, bandejas de carne y productos electrónicos.

Estos productos se fabrican utilizando un proceso de reciclaje abierto, en el que el PET reciclado se combina con otros materiales para crear un producto nuevo y diferente. El PET es un plástico termoplástico, lo que significa que se puede fundir y moldear repetidamente sin que se degrade su calidad. Esto permite que el PET se recicle una y otra vez sin perder sus propiedades físicas y químicas. Debido a esto, el PET es un material valioso y deseable para el reciclaje. (Sintac. (2023). Reciclaje del PET: Cómo se recicla y reusa el tereftalato de polietileno.)

El proceso industrial de transformación de botellas plásticas en hilo plástico en la planta Plasco de CCU requiere un enfoque integral que abarque todas las fases del ciclo de reciclaje. Para diseñar este subproceso, se utilizará el software Bizagi, que permitirá una modelación detallada de cada etapa, facilitando una visualización clara del flujo de materiales y optimizando la toma de decisiones en términos de eficiencia y sostenibilidad. La conversión de botellas plásticas en hilo zuncho, conocido como reciclaje de PET (tereftalato de polietileno), se descompone en varias etapas clave que garantizan la calidad y viabilidad del producto final, las cuales son las siguientes:

5.21 Recolección y Clasificación

5.21.1 Recolección: Las botellas de plástico (generalmente PET) se recolectan de varias fuentes, como hogares, industrias, y puntos de reciclaje.

5.21.2 Clasificación: Las botellas se clasifican según el tipo de plástico, color, y grado de limpieza. Esto es crucial para asegurar la calidad del hilo plástico producido.

5.22 Lavado y Trituración

5.22.1 Lavado: Las botellas clasificadas se lavan para eliminar contaminantes como etiquetas, pegamento, residuos de bebidas, y otros contaminantes.

5.22.2 Trituración: Las botellas lavadas se trituran en pequeños fragmentos conocidos como escamas de PET.

5.23 Secado

5.23.1 Secado: Las escamas de PET se secan completamente para eliminar cualquier humedad, lo cual es esencial para el proceso de extrusión posterior.

5.24 Extrusión

5.24.1 Fusión: Las escamas de PET secas se calientan y funden en una máquina de extrusión.

5.24.2 Filtrado: El material fundido se filtra para eliminar impurezas y obtener una masa uniforme.

5.24.3 Extrusión: El PET fundido se extruye a través de una boquilla con orificios muy finos para formar filamentos continuos de plástico.

5.25 Enfriamiento

5.25.1 Enfriamiento: Los filamentos de plástico extruido se enfrían rápidamente mediante aire o agua para solidificarlos.

5.26 Estiramiento y Orientación

5.26.1 Estiramiento: Los filamentos se estiran mientras están aún calientes, lo que alinea las moléculas y mejora la resistencia y la flexibilidad del hilo plástico.

5.26.2 Orientación: Este proceso orienta las moléculas en la dirección del hilo, lo que le confiere propiedades mecánicas adecuadas para su uso en productos finales.

5.27 Enrollado

5.27.1 Enrollado: Los filamentos estirados se enrollan en bobinas para facilitar su manipulación y transporte. (A1 Contenedores. (n.d.). Proceso de reciclado del PET.)

5.28 Calidad y Acabado

5.28.1 Control de Calidad: El hilo plástico se somete a pruebas de calidad para asegurar que cumple con las especificaciones necesarias para su aplicación final.

5.28.2 Acabado: En algunos casos, se puede someter el hilo a procesos adicionales como teñido o recubrimiento, dependiendo del uso final.

5.29 Empaquetado y Distribución

5.29.1 Empaquetado: El hilo plástico final se empaqueta de manera adecuada para su distribución.

5.29.2 Distribución: El producto empaquetado se distribuye a los clientes finales o se utiliza en procesos de fabricación para producir productos textiles, cuerdas, o componentes industriales.

A continuación, se muestra el diagrama del modelamiento del proceso de conversión de botellas plásticas a hilo zuncho:

Ilustración 6: Primera parte del modelo del procesos de conversión de botellas plásticas en hilo plástico.

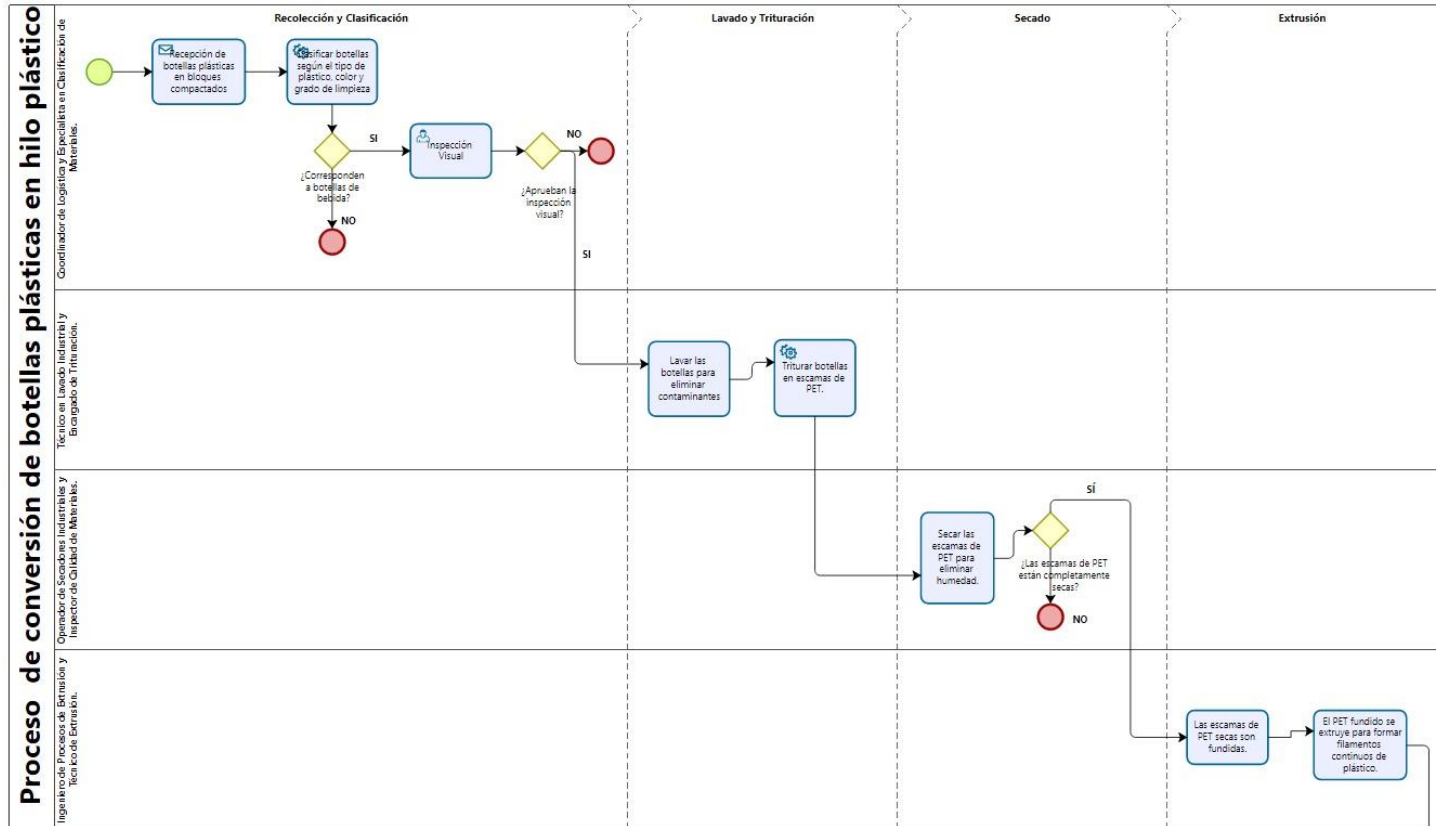
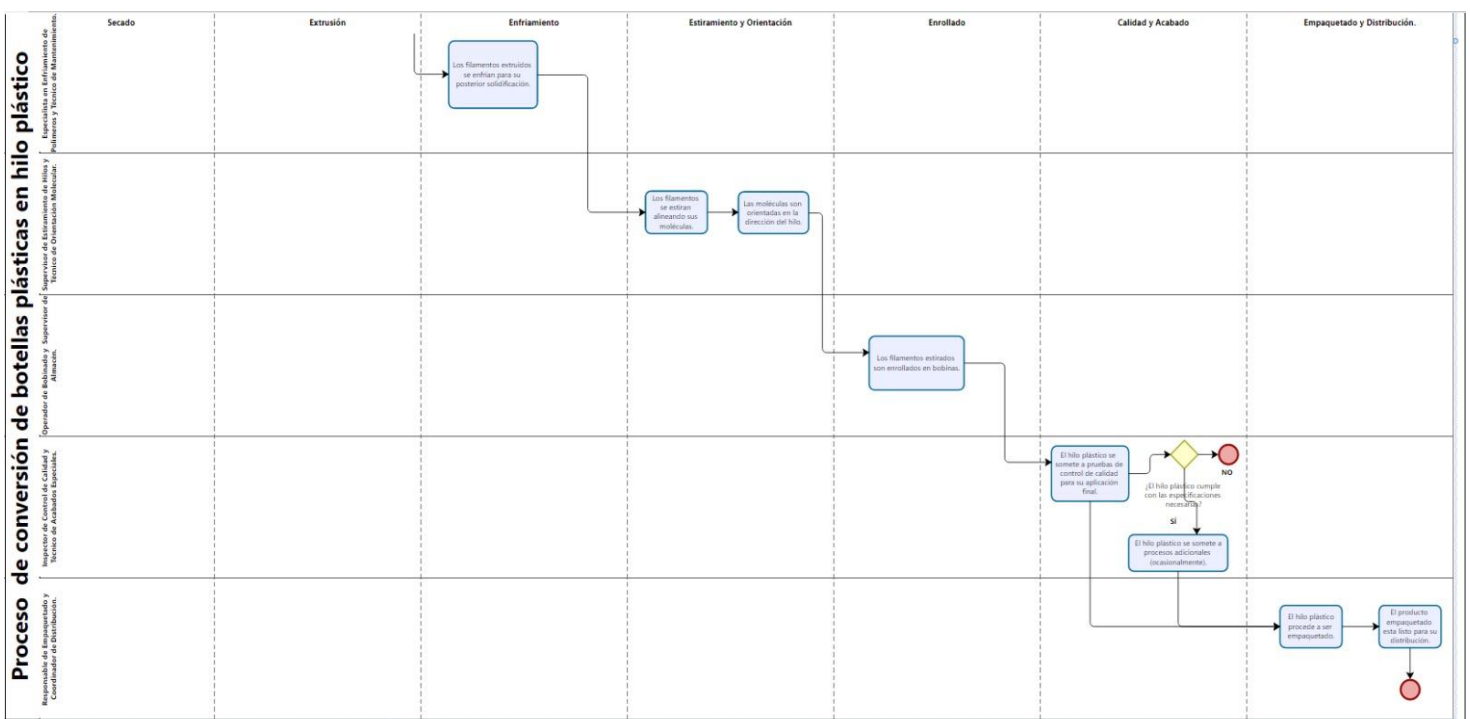


Ilustración 7: Segunda parte del modelo del procesos de conversión de botellas plásticas en hilo plástico.



El proceso de reciclaje de botellas de PET requiere una variedad de maquinarias, personal especializado y un considerable consumo de energía en cada etapa de la producción. Es importante considerar que en Chile, la tarifa eléctrica industrial es de aproximadamente \$400 pesos chilenos por kWh. Además, existe un documento que detalla los salarios de los operadores en cada fase, lo que permite evaluar la inversión en capital humano necesaria para un proceso eficiente y sostenible. Sasipa. (n.d.). Tarifas eléctricas de Sasipa) (Hays Chile. (2024). Guía de salarios 2024)

Ilustración 8: Distribución de equipamiento y costos del proceso reciclaje PET.

	Fase 1: Recolección y Clasificación	Fase 2: Lavado y Trituración	Fase 3: Secado	Fase 4: Extrusión	Fase 5: Enfriamiento
Maquinarias	Vehículos de recolección (x3) (6,3 KWH) - (\$ 4.500.000)	Lavadoras industriales (x2) (7,5 KWH) - (\$ 8.000.000)	Secadores de aire caliente o centrífugas (x2) (7,5 KWH) - (\$ 8.000.000)	Máquinas de extrusión (x3) (7,5 KWH) - (\$ 6.000.000)	Sistemas de enfriamiento (20 KWH) - (\$ 17.500.000)
	Sistemas de clasificación (20 KWH) - (\$ 50.000.000)	Trituradoras (30 KWH) - (\$ 39.000.000)			
Costo total	\$ 54.500.000	\$ 47.000.000	\$ 8.000.000	\$ 6.000.000	\$ 17.500.000
Energía	Energía Eléctrica (\$ 400)	Energía Eléctrica (\$ 400)	Energía Eléctrica (\$ 400)	Energía Eléctrica (\$ 400)	Energía Eléctrica (\$ 400)
Personal	Coordinador de Logística (\$ 1.500.000)	Técnico de Lavado Industrial (\$ 625.000)	Operador de Secadores Industriales (\$ 650.000)	Ingeniero de Procesos de Extrusión (\$ 1.850.000)	Especialista en Enfriamiento de Polímeros (\$ 750.000)
	Especialista en Clasificación de Materiales (\$ 650.000)	Encargado de Trituración (\$ 700.000)	Inspector de Calidad de Materiales (\$ 750.000)	Técnico de Extrusión (\$ 850.000)	Técnico de Mantenimiento (\$ 1.000.000)
Costo total	\$ 2.150.000	\$ 1.325.000	\$ 1.400.000	\$ 2.700.000	\$ 1.750.000

5.30 Recolección y Clasificación

En esta etapa, la recolección de botellas plásticas se realiza mediante el uso de camiones (arriendo de éstos), cuyo valor es de \$1.500.000 CLP (Productos y maquinarias cotizados personalmente en conversación con la empresa) y que consumen hasta 6,3 KWH de energía, con un costo aproximado de \$2.520 CLP/hrs. Estos vehículos recogen las botellas desde diferentes fuentes y las transportan a la planta de reciclaje. Una vez en la planta, se utilizan sistemas de clasificación, que pueden ser manuales o automatizados, como cintas transportadoras y separadores ópticos o mecánicos, para clasificar las botellas según su tipo de plástico, color y limpieza. Estos sistemas tienen un valor de \$50.000.000 CLP y un consumo energético de hasta 20 KWH, lo que genera un costo de \$8.000 CLP/hrs. (CCU. (2023). CCU inicia operación del primer camión de alto tonelaje 100% eléctrico en Chile.)

El personal involucrado en esta fase incluye al Coordinador de Logística, quien es responsable de supervisar la recolección de botellas plásticas desde diversas fuentes y de

gestionar el transporte hacia la planta. Este rol exige una sólida capacidad de gestión de recursos y resolución de problemas logísticos, con una remuneración aproximada de \$1.500.000 CLP. También participa un Especialista en Clasificación de Materiales, encargado de asegurar que las botellas se clasifiquen correctamente según sus propiedades físicas, químicas y mecánicas, garantizando el cumplimiento de los estándares de calidad. Su sueldo aproximado es de \$650.000 CLP. (Sesotec. (n.d.). Sistemas de clasificación de reciclaje con cinta transportadora.)

5.31 Lavado y Trituración

Una vez clasificadas, las botellas pasan por un proceso de limpieza mediante lavadoras industriales, cuyo valor es de \$4.000.000 CLP. (Productos y maquinarias cotizados en el mercado). Estas máquinas eliminan contaminantes como etiquetas y residuos de pegamento, con un consumo energético de hasta 7,5 KWH y un costo de \$3.000 CLP/hrs. Después del lavado, las botellas son trituradas en escamas de PET utilizando trituradoras con un valor de \$39.000.000 CLP. Este proceso consume hasta 30 KWH de energía, con un costo de \$12.000 CLP/hrs. (Magri. (n.d.). Lavadora de plásticos PET fricción R4M 380v 75kw.)

El Técnico de Lavado Industrial opera las máquinas de limpieza, asegurando que las botellas queden libres de residuos que puedan afectar la calidad del reciclado. Este técnico recibe un sueldo aproximado de \$625.000 CLP. Por otro lado, el Encargado de Trituración controla las trituradoras, garantizando que el proceso de corte en escamas sea eficiente y seguro. Este trabajador percibe un sueldo aproximado de \$700.000 CLP. (Plumer. (n.d.). Línea de reciclaje de plásticos PET.)

5.32 Secado

El secado de las escamas de PET es un paso crucial para eliminar la humedad residual. Para ello, se utilizan secadores de aire caliente o centrífugas, cuyo valor es de \$4.000.000 CLP (Productos y maquinarias cotizados en el mercado). Estas máquinas consumen hasta 7,5 KWH de energía, generando un costo de \$3.000 CLP/hrs. Este proceso asegura que las escamas estén completamente secas antes de pasar a la siguiente fase. (Magri. (n.d.). Secador de plásticos PET 380v 75kw)

El Operador de Secadores Industriales es responsable de supervisar este proceso, garantizando que las escamas se sequen de manera eficiente y que no queden restos de humedad que puedan comprometer la calidad del producto final. Este rol tiene una remuneración de aproximadamente \$650.000 CLP. Además, un Inspector de Calidad de Materiales revisa las escamas secas, asegurándose de que cumplan con los requisitos de humedad y calidad necesarios para la extrusión. Este inspector percibe un sueldo aproximado de \$750.000 CLP. (Metrafil. (n.d.). Secador industrial de plásticos.)

5.33 Extrusión

En esta etapa, las escamas secas de PET se funden y se convierten en filamentos mediante el uso de máquinas de extrusión, que tienen un valor de \$2.000.000 CLP (Productos y maquinarias cotizados en el mercado) y consumen hasta 7,5 KWH de energía, con un costo de \$3.000 CLP/hrs. Este proceso convierte las escamas plásticas en un nuevo material, listo para ser transformado en productos útiles.

El Ingeniero de Procesos de Extrusión es responsable de configurar y ajustar las condiciones de temperatura y presión de las máquinas para fundir el PET. Este ingeniero también evalúa y optimiza el proceso de extrusión para mejorar su eficiencia. Su remuneración aproximada es de \$1.850.000 CLP. El Técnico de Extrusión, por su parte, controla las máquinas, verificando que los filamentos plásticos obtenidos cumplan con los estándares de consistencia y calidad. Este técnico recibe un sueldo de aproximadamente \$850.000 CLP. (Atlas Copco. (n.d.). Sistemas industriales de enfriamiento de agua.)

5.34 Enfriamiento

El enfriamiento de los filamentos de PET extruido es esencial para asegurar que mantengan su forma y propiedades. En esta fase, se utilizan sistemas de enfriamiento valorados en \$17.500.000 CLP [1.1], los cuales consumen hasta 20 KWH de energía, con un costo de \$8.000 CLP/hrs. El proceso de enfriamiento puede realizarse mediante aire o agua, dependiendo de las necesidades específicas del material. (Educaweb. (n.d.). Tecnólogo de polímeros.)

El Especialista en Enfriamiento de Polímeros supervisa este proceso, controlando la temperatura y asegurando que los filamentos se enfríen correctamente para evitar

deformaciones o alteraciones en su estructura. Este especialista tiene un sueldo aproximado de \$750.000 CLP. Además, el Técnico de Mantenimiento es el encargado de asegurar el correcto funcionamiento de los sistemas de enfriamiento, realizando mantenimiento preventivo y correctivo para evitar fallos en el equipo que puedan comprometer la calidad del producto final. Este técnico recibe un salario de aproximadamente \$1.000.000 CLP. (Plastemart. (n.d.). Recicladora de plásticos PET.)

Ilustración 9: Distribución de equipamiento y costos del proceso reciclaje PET.

	Fase 6: Estiramiento y Orientación	Fase 7: Enrollado	Fase 8: Calidad y Acabado	Fase 9: Empaquetado y Distribución
Maquinarias	Estiradores de filamento (x2) (6 KWH) - (\$ 8.000.000)	Bobinadoras automáticas (x3) (4 KWH) - (\$ 1.500.000)	Equipos de control de calidad (\$ 3.500.000)	Empaquetadoras automáticas (8 KWH) - (\$ 9.000.000)
			Máquinas de acabado (22 KWH) - (\$ 18.500.000)	Vehículos de distribución (x2) (6,3 KWH) - (\$ 3.000.000)
Costo total	\$ 8.000.000	\$ 4.500.000	\$ 22.000.000	\$ 12.000.000
Energía	Energía Eléctrica	Energía Eléctrica	Energía Eléctrica	Energía Eléctrica
Costo total	\$ 4.800	\$ 4.800	\$ 8.800	\$ 8.240
Personal	Supervisor de Estiramiento de Hilos (\$ 1.000.000)	Operador de Bobinado (\$ 625.000)	Inspector de Control de Calidad (\$ 850.000)	Responsable de Empaquetado (\$ 625.000)
	Técnico de Orientación Molecular (\$ 900.000)	Supervisor de Almacén (\$ 900.000)	Técnico de Acabados Especiales (\$ 800.000)	Coordinador de Distribución (\$ 1.250.000)
Costo total	\$ 1.900.000	\$ 1.525.000	\$ 1.650.000	\$ 1.875.000

5.35 Estiramiento y Orientación

En esta fase se utilizan estiradores de filamento, cuyo valor es de \$4.000.000 CLP (Productos y maquinarias cotizados en el mercado). Estas máquinas aplican tensión a los filamentos plásticos, lo que alinea las moléculas para mejorar sus propiedades mecánicas. El consumo energético de los estiradores alcanza hasta 6 KWH, con un costo de \$2.400 CLP/hrs. Este proceso es esencial para dotar a los filamentos de mayor resistencia y flexibilidad, asegurando que el producto final cumpla con los estándares requeridos. (Todo en Polímeros. (2017). Orientación molecular uni y bi-axial.)

El personal necesario para esta etapa incluye al Supervisor de Estiramiento de Hilos, quien se encarga de aplicar la tensión correcta a los filamentos, asegurando que las moléculas del plástico se alineen de manera óptima. Este rol tiene una remuneración aproximada de

\$1.000.000 CLP. Además, el Técnico de Orientación Molecular revisa y ajusta el proceso de orientación para mejorar las propiedades finales del hilo, con un salario aproximado de \$900.000 CLP. (CIMED. (n.d.). Máquina bobinadora marca Schleich.)

5.36 Enrollado

Tras el estiramiento, los filamentos plásticos son enrollados en bobinas utilizando bobinadoras automáticas, cuyo valor es de \$1.500.000 CLP (Productos y maquinarias cotizados en el mercado). Estas máquinas consumen hasta 4 KWH de energía, con un costo de \$1.600 CLP/hrs. El enrollado asegura que los filamentos estirados se almacenen correctamente, facilitando su transporte y uso posterior en la cadena de producción. (The Muse. (n.d.). Winder operator.)

El Operador de Bobinado es el encargado de manejar el equipo que enrolla los filamentos, asegurando un proceso continuo y sin interrupciones. Su sueldo aproximado es de \$625.000 CLP. Además, el Supervisor de Almacén gestiona el almacenamiento de las bobinas, organizando el inventario y preparando el producto para su distribución, con una remuneración aproximada de \$900.000 CLP. (Bind. (n.d.). Supervisor de almacén.)

5.37 Calidad y Acabado

En esta etapa, el hilo plástico pasa por equipos de control de calidad, cuyo valor es de \$3.500.000 CLP (Productos y maquinarias cotizados en el mercado) en total. Estos equipos incluyen medidores de diámetro, pruebas de resistencia y otras herramientas que aseguran que el producto cumpla con los estándares técnicos y estéticos. También se utilizan máquinas de acabado, como aquellas para teñido o recubrimiento, valoradas en \$18.500.000 CLP. Estas máquinas consumen hasta 22 KWH, con un costo de \$8.800 CLP/hrs. (Torontech. (n.d.). Línea de reciclaje de plástico PET con sistema de polimerización.)

El Inspector de Control de Calidad revisa el hilo para asegurar que cumpla con las especificaciones de resistencia, flexibilidad y apariencia. Este rol tiene un salario aproximado de \$850.000 CLP. Por su parte, el Técnico de Acabados Especiales supervisa procesos adicionales como el teñido o recubrimiento del hilo, según las necesidades del cliente o el uso final del producto. Su salario es de aproximadamente \$800.000 CLP. (Gampack. (n.d.). Envolvedoras film.)

5.38 Empaquetado y Distribución

Finalmente, las bobinas de hilo plástico son empacadas mediante empaquetadoras automáticas, cuyo valor es de \$9.000.000 CLP. Estas máquinas consumen hasta 8 KWH, con un costo de \$3.200 CLP/hrs. El producto empaquetado se prepara para su distribución utilizando vehículos (arriendos de éstos), cuyo valor es de \$1.500.000 CLP (Productos y maquinarias cotizados personalmente en conversación con la empresa), con un consumo energético de 6,3 KWH y un costo de \$2.520 CLP/hrs. (Torontech. (n.d.). Línea de reciclaje de plástico PET con sistema de polimerización.)

El Responsable de Empaquetado gestiona el proceso de empaquetado, asegurando que el hilo se embale en condiciones óptimas para su transporte y almacenamiento, con un sueldo aproximado de \$625.000 CLP. Por otro lado, el Coordinador de Distribución organiza la logística para la entrega del producto empaquetado a los clientes o plantas de fabricación, con una remuneración de \$1.250.000 CLP. (CCU. (n.d.). CCU inicia operación del primer camión de alto tonelaje 100% eléctrico en Chile.)

CCU cuenta con una amplia red de proveedores estratégicos que facilitan el desarrollo de sus operaciones, incluyendo los procesos vinculados a la sostenibilidad y reciclaje. En el contexto de la propuesta de transformar botellas plásticas en hilo plástico, los proveedores que ya colaboran con la empresa en diversas áreas son los siguientes:

5.39 Proveedores de Materiales Plásticos

CCU tiene acceso a sus propias botellas plásticas usadas gracias a su enfoque en la economía circular, especialmente a través de su planta de reciclaje "Plasco", que fue la primera en Chile en reciclar botellas PET. Plasco actúa como un facilitador clave, recolectando botellas plásticas que pueden ser utilizadas en la producción de hilo plástico.

5.40 Proveedores de Servicios Energéticos

CCU colabora con proveedores de energía, como Enel Chile, para reducir su impacto ambiental a través del uso de energías limpias. Enel, por ejemplo, ha apoyado iniciativas de energías renovables en varias plantas de CCU, lo que sería esencial para el subproceso de transformación de plásticos. El uso de energía renovable en el proceso no solo sería más sostenible, sino que también alinearía a CCU con sus compromisos ambientales.

5.41 Proveedores de Maquinaria y Tecnología

Para el desarrollo de este subproceso, CCU podría recurrir a sus alianzas con fabricantes de maquinaria industrial especializada. Estos incluyen empresas globales de reciclaje como Erema y Sorema, que suministran equipos de reciclaje de plásticos para operaciones similares a las que se proponen en la planta Plasco. Además, el uso de herramientas de software como Bizagi, para la modelación y simulación de procesos, forma parte del ecosistema tecnológico de CCU.

5.42 Proveedores de Logística y Transporte

La recolección y transporte de los desechos plásticos desde los centros de consumo hacia la planta es un aspecto logístico clave. CCU podría apoyarse en proveedores locales y regionales como KDM Empresas, que ofrece soluciones integrales de gestión de residuos, y Recoleta, especializada en la recolección de materiales reciclables para industrias y municipios. Esto aseguraría que el flujo de materiales reciclables sea constante y eficiente, facilitando la integración de este nuevo subproceso.

5.43 Proveedores de Insumos Generales

En operaciones de gran escala, CCU cuenta con una extensa red de proveedores de insumos necesarios para sus actividades industriales, lo que incluye suministros para mantenimiento, lubricantes industriales y otros materiales auxiliares. Estos proveedores son esenciales para asegurar el correcto funcionamiento de la maquinaria involucrada en el proceso de reciclaje. (CCU. (n.d.). Portal de proveedores)

5.44 Simulación de la implementación del subproceso propuesto.

Para evaluar el comportamiento operativo del subproceso propuesto, se realizó una simulación utilizando el software Bizagi. Esta herramienta permitió representar de forma dinámica y detallada cada etapa del proceso, incorporando variables como tiempos de operación, consumo energético, dotación de personal y eficiencia de la maquinaria. A través de distintos escenarios (optimista, normal y pesimista), la simulación facilitó la identificación de posibles cuellos de botella, evaluó la capacidad de respuesta del sistema ante variaciones en la carga de trabajo y proporcionó información clave para optimizar el diseño antes de su implementación real.

La simulación del subproceso propuesto comienza con la determinación de los insumos iniciales, basándose en la cantidad de botellas plásticas disponibles para reciclaje. Se estima un total de 870 millones de botellas recolectadas anualmente, cada una con un peso promedio de 25 gramos (Haddad S.A. (n.d.). Reciclaje de PET en Chile.), lo que resulta en un peso total de 21,750 toneladas de PET. Este cálculo se obtiene multiplicando el número de botellas por su peso individual:

$$870,000,000 \text{ botellas} * 0,025 \frac{\text{kg}}{\text{botella}} = 21,750,000 \text{ kg} = 21,750 \text{ toneladas.}$$

Posteriormente, este valor inicial se reduce en la etapa de limpieza, donde se eliminan impurezas, etiquetas y residuos plásticos no compatibles. El proceso tiene una eficiencia promedio aproximada del 81%, este porcentaje se refiere a la fracción del PET recolectado que es recuperable después de la etapa de limpieza y clasificación. Representa las pérdidas asociadas con contaminantes, etiquetas, tapas y otros materiales no PET. Este valor está basado en referencias industriales sobre el rendimiento promedio en plantas de reciclaje que utilizan procesos estándares de limpieza y separación. Según algunos estudios técnicos y reportes como los de la Universidad Técnica Federico Santa María y otras fuentes relacionadas con eficiencia en procesos de reciclaje, un valor típico para este tipo de procesos oscila entre el 76% y el 85% (Universidad Técnica Federico Santa María. (n.d.). El reciclaje es la última opción que se tiene cuando los residuos se han producido.) dependiendo de la tecnología utilizada, lo que implica que del material recolectado se recuperan aproximadamente 17,618 toneladas de PET limpio. Este cálculo se realiza aplicando el factor de eficiencia a las 21,750 toneladas iniciales:

$$PET \text{ limpio} = PET \text{ recolectado} * Eficiencia \text{ de limpieza}$$

$$PET \text{ limpio} = 21,750 \text{ toneladas} * 0,81 = 17,617.5 \text{ toneladas (redondeado a 17,618)}$$

En la siguiente fase, el PET limpio se somete al proceso de conversión en hilo plástico. La eficiencia de esta etapa es del 95%, documentos técnicos como uno de la Universidad Técnica Federico Santa María explican que en las fases del reciclaje de plásticos, incluyendo trituración, fundido, extrusión y bobinado, en términos generales, un valor conservador

cercano al 95% (0,95 kg de hilo por cada kg de PET reciclado) parece razonable según las estimaciones y análisis de eficiencia en procesos industriales relacionados con textiles y reciclaje de plásticos (Universidad Técnica Federico Santa María. (2023). Optimización de procesos de reciclaje de PET.). Este porcentaje tiene en cuenta las pérdidas por contaminación, la eliminación de etiquetas y tapas, y las ineficiencias en la transformación del material reciclado, lo que significa que por cada kilogramo de PET limpio procesado se obtienen 0.95 kilogramos de hilo plástico. Aplicando este rendimiento al material recuperado en la etapa de limpieza, se estima una producción anual de 16,737 toneladas de hilo plástico. Este resultado se calcula multiplicando las 17,618 toneladas de PET limpio por el coeficiente de conversión:

$$17,618 \text{ toneladas} * 0,95 = 16,737 \text{ toneladas.}$$

La simulación también considera la capacidad de las líneas de producción en la planta. Por ejemplo, si las trituradoras y extrusoras tienen capacidades de 5 toneladas por hora y 3 toneladas por hora respectivamente, estas etapas deben sincronizarse para evitar cuellos de botella. En un turno de 8 horas, una línea de trituración puede procesar hasta 40 toneladas, lo que implica que se necesitarían varios turnos diarios para cumplir con la capacidad anual prevista. Este dato es crítico para determinar la cantidad de turnos y personal requerido.

Las capacidades de 5 toneladas por hora para las trituradoras y 3 toneladas por hora para las extrusoras son valores típicos que corresponden a las especificaciones técnicas comunes de equipos industriales utilizados en el reciclaje de PET. Estas capacidades varían dependiendo del modelo, la marca, y las condiciones específicas de operación.

Según fabricantes como Vecoplan y CMG, las trituradoras industriales diseñadas para el manejo de PET suelen tener capacidad de 5 toneladas por hora, dependiendo de factores como el tamaño del rotor, la potencia del motor, y el diseño de la cámara de corte (Aaron Equipment. (n.d.). Used equipment: Plastics equipment.). En el caso de las extrusoras, marcas como EREMA y Polystar diseñan equipos con capacidades desde hasta más de 3 toneladas por hora, ajustándose a los requisitos de diferentes procesos industriales. (Erema. (n.d.). Plastic recycling solutions)

Los valores de 5 y 3 toneladas por hora se utilizan en la simulación para ilustrar una configuración típica en una planta con un alto volumen de producción. Estos parámetros son esenciales para planificar la operación diaria de las líneas de producción, calcular la cantidad de turnos necesarios, y estimar el personal requerido para alcanzar la capacidad de procesamiento anual proyectada.

En términos energéticos, con un costo promedio de \$400 CLP por kWh en Chile, se simula el consumo eléctrico total de las máquinas involucradas, especialmente en la extrusión, que es la etapa de mayor demanda. Suponiendo que cada tonelada de PET procesado en la extrusora consume 400 kWh, procesar las 17,618 toneladas limpias anuales implica un consumo de 7,047,200 kWh anuales.

$$17,618 \text{ toneladas} * 400 \frac{kWh}{\text{tonelada}} = 7,047,200 \text{ kWh}.$$

Esto representa un costo energético anual de \$2,818,880,000 CLP.

$$7,047,200 \text{ kWh} * \frac{400 \text{ CLP}}{\text{kWh}} = \$2,818,880,000 \text{ CLP}.$$

Finalmente, la simulación se ajusta bajo diferentes escenarios. En un escenario optimista, la eficiencia de limpieza podría aumentar al 85%, lo que elevaría la producción de PET limpio a 18,488 toneladas y, en consecuencia, el hilo plástico a 17,563 toneladas.

$$\text{PET limpio (toneladas)} = 21,750 \times 0,85 = 18,488 \text{ toneladas}$$

$$\text{Hilo plástico (toneladas)} = 18,488 * 0,95 = 17,563 \text{ toneladas}$$

En un escenario pesimista, si la eficiencia de limpieza cae al 76%, solo se recuperan 16,530 toneladas de PET limpio, resultando en 15,704 toneladas de hilo plástico.

$$\text{PET limpio (toneladas)} = 21,750 * 0,76 = 16,530 \text{ toneladas}$$

$$\text{Hilo plástico (toneladas)} = 16,530 * 0,95 = 15,704 \text{ toneladas}$$

Ambos escenarios son fundamentales para comprender las condiciones límites del sistema. En el caso optimista, se demuestra el impacto positivo de invertir en tecnologías avanzadas o capacitar al personal en el manejo eficiente de los equipos. En el escenario pesimista, se subraya la necesidad de robustecer la cadena de suministro y garantizar la calidad del PET recolectado, así como realizar mantenimientos preventivos regulares para evitar una caída en la eficiencia. De esta forma, la simulación no solo evalúa el desempeño actual, sino que también traza posibles caminos para optimizar la operación del subproceso.

Ilustración 9: Modelo para la simulación del proceso.

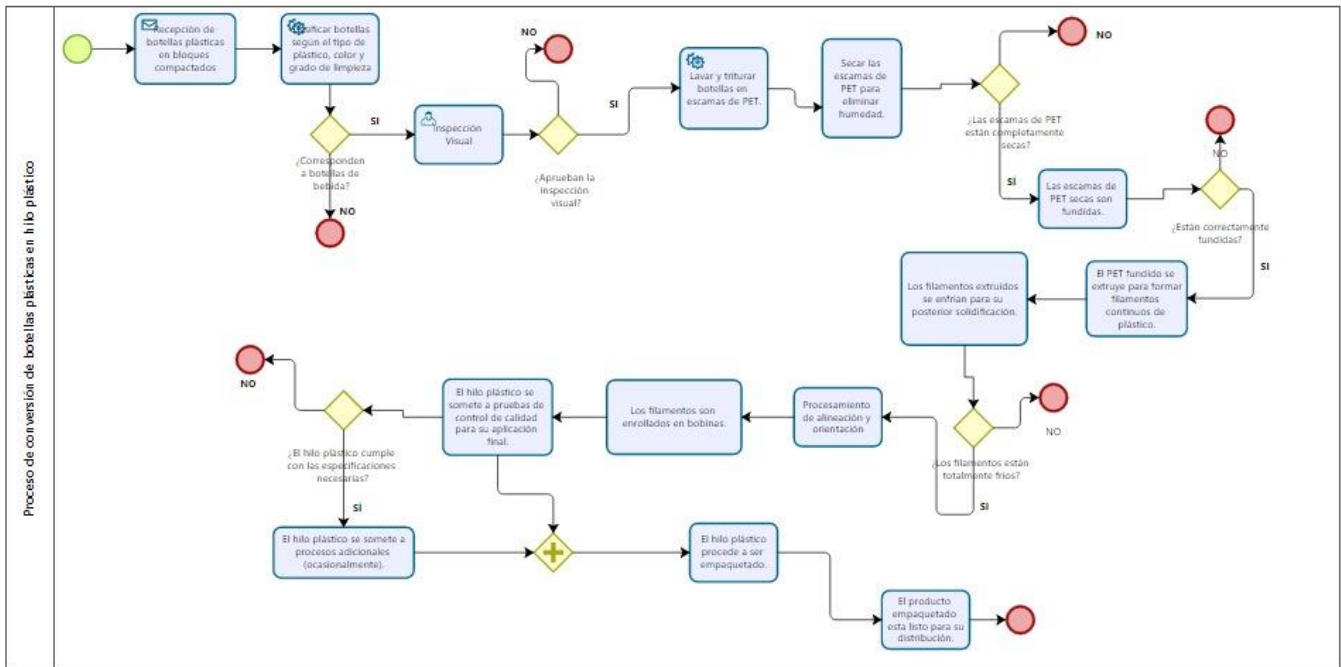


Ilustración 10: Propiedades para la validación del proceso.

The dialog box contains the following configuration details:

- Nombre:** Simulación
- Descripción:** Iteraciones de PET.
- Autor:** Ariel Arteaga Cobeña
- Versión:** 1.0
- Inicio:** 11/13/2024
- Duración:** 0 días, 0 hrs, 60 mins, 0 segs
- Unidad de tiempo:** Minutos
- Unidad monetaria:** CLP - Peso chileno
- Replicación:** 0
- Semilla:** 0

Ilustración 11: Tiempo de procesamiento.

Tiempo

Tiempo de procesamiento (mins) ⓘ

Distribución Normal

Media	<input type="text" value="15"/>
Desviación estándar	<input type="text" value="2"/>

OK Cancelar

Ilustración 12: Análisis disponibilidad de recursos.

Recursos

Disponibilidad Costos

Recursos	Cantidades
Personal fase 2	<input type="text" value="2"/>
Eficiencia energética fase 2	<input type="text" value="45"/>
maquinaria fase 3	<input type="text" value="2"/>
Maquinaria fase 4	<input type="text" value="3"/>
Maquinaria fase 5	<input type="text" value="1"/>

Recursos

Aceptar

Ilustración 13: Costos de la disponibilidad de recursos.

Recursos

Disponibilidad Costos

Recursos	Costo fijo	Costo por hora
Personal fase 2	<input type="text" value="1325000"/>	<input type="text" value="8300"/>
Eficiencia energética fase 2	<input type="text" value="18000"/>	<input type="text" value="400"/>
maquinaria fase 3	<input type="text" value="8000000"/>	<input type="text" value="50000"/>
Maquinaria fase 4	<input type="text" value="6000000"/>	<input type="text" value="37500"/>
Maquinaria fase 5	<input type="text" value="17500000"/>	<input type="text" value="109375"/>

Recursos

Aceptar

5.45 Evaluación de la viabilidad técnica del subproceso de reciclaje de botellas plásticas.

La evaluación técnica del subproceso de reciclaje de botellas plásticas para la producción de hilo plástico requiere una revisión profunda de diversos aspectos operacionales y de ingeniería. Estos incluyen la capacidad de producción, calidad del producto, eficiencia del proceso, durabilidad de la maquinaria y la compatibilidad de la infraestructura existente.

5.46 Capacidad de producción

La capacidad de producción es un aspecto crítico para evaluar la viabilidad técnica, ya que define si el subproceso puede cumplir con las metas de procesamiento dentro del tiempo y recursos disponibles. En este caso, el volumen inicial de PET recolectado es de 21,750 toneladas anuales, equivalente a 870 millones de botellas de plástico. Este volumen debe procesarse en varias etapas, como limpieza, trituración y extrusión.

5.46.1 Dimensionamiento de maquinaria

Las trituradoras con una capacidad de 5 toneladas por hora y las extrusoras de 3 toneladas por hora deben operar de manera continua y sincronizada. Esto implica que, en un turno de 8 horas, una trituradora puede procesar hasta 40 toneladas diarias, mientras que la extrusora puede manejar 24 toneladas diarias. En un año de 250 días laborables (aproximación estándar en la industria), se necesitarían al menos 2000 turnos anuales para alcanzar la capacidad total proyectada en la etapa de extrusión.

5.46.2 Sincronización de etapas

Es fundamental que la capacidad de cada etapa se ajuste para evitar cuellos de botella. Si la trituradora tiene una mayor capacidad que la extrusora, se acumulará material no procesado, lo que puede generar costos adicionales de almacenamiento o desperdicio. Por el contrario, si la extrusora trabaja por debajo de su capacidad, se desperdicia energía y tiempo, reduciendo la eficiencia del sistema. (Plastico. (n.d.). Todo sobre las trituradoras de plástico: Aplicaciones y ventajas.)

5.46.3 Flexibilidad operativa

La maquinaria debe ser capaz de adaptarse a variaciones en la calidad y el volumen del PET recolectado. Por ejemplo, si un lote de botellas contiene más impurezas de lo habitual, la

eficiencia de limpieza podría disminuir, afectando el flujo del material a las etapas posteriores.

5.47 Calidad del hilo plástico

La calidad del hilo plástico producido es un indicador clave de la viabilidad técnica y comercial del subproceso. Este aspecto no solo afecta el valor del producto final en el mercado, sino también la capacidad del hilo para cumplir con los estándares exigidos por los clientes, como resistencia, elasticidad y uniformidad.

5.47.1 Factores técnicos en la calidad

La calidad del hilo depende de varios parámetros durante el proceso, como la temperatura y la presión de extrusión, la velocidad de enfriamiento y el control de contaminantes. Incluso pequeñas variaciones en estas condiciones pueden resultar en defectos en el hilo, como burbujas de aire, inconsistencias en el diámetro o fragilidad.

5.47.2 Pruebas de control de calidad

Se deben implementar procedimientos regulares de prueba y análisis del hilo, como pruebas de tracción y resistencia térmica. Estas pruebas deben realizarse en la línea de producción para garantizar la consistencia.

5.47.3 Estándares del mercado

Es fundamental que el hilo plástico cumpla con normativas internacionales, como las certificaciones ISO 9001 para calidad de procesos y productos. Además, debe cumplir con las expectativas de los sectores a los que se dirige, como textiles o manufactura de empaques. (Vecoplan. (n.d.). Vecoplan industrial shredders.)

5.48 Eficiencia energética

El consumo energético es un componente esencial para determinar la viabilidad económica y ambiental del proceso. En este caso, el análisis considera un costo promedio de \$400 CLP por kWh en Chile, y una demanda energética significativa en la etapa de extrusión, donde cada tonelada de PET procesado consume 400 kWh.

5.48.1 Distribución del consumo energético

Además de la extrusión, otras etapas como la limpieza y trituración también consumen energía considerablemente. Por ejemplo, sistemas de lavado a alta presión pueden consumir entre 10 y 20 kWh por tonelada de PET, mientras que las trituradoras pueden requerir entre 20 y 50 kWh por tonelada, dependiendo de la tecnología y el diseño del rotor.

5.48.2 Optimización del consumo

Invertir en maquinaria de alta eficiencia energética puede reducir costos a largo plazo, a pesar de un mayor costo inicial. Asimismo, el uso de sistemas de recuperación de calor en la extrusión o motores de alta eficiencia en las trituradoras podría disminuir el impacto energético global.

5.48.3 Uso de energías renovables

Para mejorar la sostenibilidad del proyecto, se podría evaluar la integración de fuentes de energía renovable, como paneles solares o turbinas eólicas, especialmente en regiones donde estas tecnologías son viables. Esto no solo reduciría costos, sino que también mejoraría la percepción ambiental del producto final.

5.49 Durabilidad y mantenimiento de la maquinaria

La durabilidad de las máquinas afecta directamente los costos operativos y la continuidad del proceso. Equipos con mayor vida útil y menor requerimiento de mantenimiento permiten maximizar el retorno de inversión.

5.49.1 Frecuencia de mantenimiento

Se deben establecer programas de mantenimiento preventivo y correctivo para cada máquina. Por ejemplo, trituradoras y extrusoras requieren revisión periódica de cuchillas, filtros y motores para evitar fallos inesperados. La frecuencia ideal depende de la intensidad del uso, pero generalmente se recomienda una revisión cada 1,000 horas de operación. (MC Services. (n.d.). Servicios de mantenimiento y reparación industrial.)

5.49.2 Disponibilidad de repuestos

Los repuestos deben ser accesibles localmente o a través de distribuidores confiables para minimizar tiempos de inactividad. Equipos de marcas reconocidas, como Vecoplan o

EREMA, suelen contar con redes de soporte técnico globales, lo que facilita el acceso a repuestos y servicios especializados.

5.50 Compatibilidad con la infraestructura existente

La implementación del subproceso debe considerar las condiciones físicas y técnicas de la planta. (CMG Granulators. (n.d.). Granulators and shredders.)

5.50.1 Espacios físicos

Las máquinas deben ajustarse a los espacios disponibles en la planta, considerando no solo su tamaño, sino también el flujo de materiales entre etapas y la accesibilidad para mantenimiento.

5.50.2 Conexiones eléctricas

Las máquinas de alta capacidad suelen requerir conexiones eléctricas trifásicas y sistemas de distribución de energía robustos. Además, se debe evaluar la capacidad del sistema eléctrico existente para soportar la carga adicional.

5.51 Impacto ambiental

Un proceso eficiente no solo debe ser rentable, sino también minimizar su impacto ambiental.

5.51.1 Gestión de residuos

Durante la limpieza, se generan residuos como etiquetas, tapas y material plástico no PET. Estos deben ser recolectados y reciclados de manera adecuada para evitar contaminación.

5.51.2 Uso del agua

El lavado de botellas consume grandes cantidades de agua, que puede ser reciclada mediante sistemas de filtración y tratamiento para reducir el consumo neto.

5.51.3 Emisiones de carbono

El consumo energético y la operación de maquinaria generan emisiones de gases de efecto invernadero. Una opción para reducirlas sería compensar estas emisiones mediante programas de neutralidad de carbono.

5.52 Evaluación económica y financiera del subproceso.

Para realizar la evaluación de un flujo financiero con una proyección de cinco periodos, se inicia el análisis en el periodo 1 en lugar del 0 porque este último se considera el momento de la inversión inicial. El periodo 0 refleja el desembolso inicial necesario para implementar el proyecto, como la adquisición de maquinaria, infraestructura y otros costos no recurrentes, mientras que el periodo 1 marca el comienzo de las operaciones productivas y de generación de ingresos. Esto permite diferenciar claramente entre la fase de inversión y la de ejecución, asegurando que los flujos de efectivo proyectados correspondan exclusivamente a las actividades operativas del subproceso. Así, partir del periodo 1 garantiza que el análisis económico evalúe los resultados financieros netos del proyecto una vez cubierta la inversión inicial.

Se asume que se financiará un 30 % de la inversión inicial en el proyecto con deuda financiera mediante la solicitud de deuda financiera bancaria con un costo anual del 12.5 %. Para la determinación del costo del capital del proyecto (WACC), también se tiene en cuenta el costo de los recursos propios del proyecto. Este costo se estima mediante el modelo de valoración de activos de capital (CAPM).

Para iniciar la evaluación del flujo financiero, se calcula el ingreso por ventas, que corresponde a la suma total obtenida por la empresa a través de la comercialización de sus productos o servicios durante un periodo determinado. En este caso, se determina multiplicando el valor por kilogramo del hilo plástico por la cantidad total producida en kilogramos. Seguidamente, se calcula el costo de ventas, que engloba todos los gastos relacionados con la producción, distribución y comercialización del producto. Se asume que el costo de ventas del proyecto corresponde al 45 % de los ingresos de la empresa y que crecen en la misma medida que estos.

Se asume que la inversión inicial en maquinarias y equipos asciende a un monto de un poco más de 34313 millones de pesos chilenos. Esto incluye tanto la inversión realizada en la planta como la adquisición de las nuevas maquinarias necesarias para el proceso. También se asume una inversión inicial en capital de trabajo (KTN) por un valor del 15 % de los costos

totales del proyecto en el primer año de operaciones. Esta inversión asciende a algo más de 4136 millones de pesos.

Finalmente, se ha considerado la inversión necesaria en activos intangibles como los estudios y diseños técnicos del proyecto, así como los estudios de mercado, capacitaciones técnicas, diseño de productos y otros elementos. Esta inversión ronda los 416 millones de pesos y se amortizará a lo largo de los primeros cinco años de operación.

El margen bruto se obtiene restando el costo de ventas de los ingresos por ventas, proporcionando una medida inicial de rentabilidad. Adicionalmente, se consideran los costos fijos GAV, que son los gastos invariables que la empresa debe cubrir independientemente de su nivel de producción. Estos incluyen elementos como la depreciación de las maquinarias, salarios del personal, consumo energético, número de horas trabajadas y su distribución mensual, garantizando así una representación integral de las obligaciones económicas recurrentes del proyecto.

5.52.1 Resultados de la evaluación económico-financiera

La construcción del costo del capital propio del proyecto arroja que este asciende al 18.07 % anual. Este costo se compone en un 70 % del costo del capital propio del proyecto —que es del 21.12 % anual— y en un 30 % del costo de la deuda después de impuestos. Abajo se resumen las variables de estimación del costo del capital propio mediante el modelo CAPM y su estimación, así como el cálculo del WACC del proyecto.

Tabla 2: Variables de estimación del costo de capital

Rendimiento promedio del mercado bursátil (1990-2021)	18,14%
Tasa libre de riesgo	5,54%
Beta desapalancada de la industria	0,942
Estructura D/E del proyecto	0,429

Estas variables de estimación del costo de capital, se obtienen a partir de las siguientes fuentes:

- El Rendimiento promedio del mercado bursátil, se toma la rentabilidad promedio del mercado bursátil chileno en el periodo 1990-2021. (TheGlobalEconomy.com. (2024). Chile: Rentabilidad del mercado bursátil.)
- La tasa libre de riesgo se toma el rendimiento promedio de los bonos chilenos en pesos a 10 años. (Trading Economics. (2024). Chile - Rendimiento de los bonos del gobierno.)
- El Beta desapalancada de la industria, se toma el beta desapalancada que Damodaran (2025) proporciona en su base de datos para la industria global del plástico. (Damodaran, A. (2024). Data: Current data for valuation. NYU Stern School of Business.)

De esta forma la construcción del costo de capital queda de la siguiente manera:

Beta apalancada del proyecto:

$$\beta_L = (\beta_U) \left(1 + \left[\frac{D}{E} \right] [1 - T] \right) = (0,942)(1 + [0.429][1 - 0.27]) = 1,236$$

Costo del capital propio del proyecto mediante el CAPM:

$$K_E = R_f + (R_m - R_f)(\beta_L) = 0.0554 + (0.1814 - 0.0554)(0.805) = 21,12\%$$

$$WACC = (K_E) \left(\frac{E}{D + E} \right) + (K_D) \left(\frac{D}{D + E} \right) (1 - T) = (0.2112)(0.70) + (0.15)(0.30)(1 - 0.27) = 18,07\%$$

Por otra parte, la estimación de los flujos de caja económicos y financieros del proyecto muestran que este tiene un VAN económico de un poco más de 62689 millones de pesos y una TIR económica del 70,6 % en el escenario previsto. Además, el VAN financiero asciende a 63257 millones de pesos y la TIR financiera al 98,5 % anual. El valor residual del proyecto se estima en cerca de 792 millones de pesos al final del año 5, de manera que es la principal fuente de flujos de efectivo del proyecto en la evaluación realizada.

Ilustración 14: Resultados VAN, WACC y TIR

WACC del proyecto	18,07%
VAN económico (WACC)	\$ 62.689.161.831
TIR económica	70,6%
TIO	21,12%
VAN financiero (TIO)	\$ 63.257.920.113
TIR financiera	98,5%

Ilustración 15: Evaluación económica

Concepto	Periodo 0	Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3	Periodo 4	Periodo 5
Ingresos por ventas		\$ 60.838.995.000	\$ 70.573.234.200	\$ 81.864.951.672	\$ 94.963.343.940	\$ 110.157.478.970
Costo de ventas		-\$ 27.377.547.750	-\$ 31.757.955.390	-\$ 36.839.228.252	-\$ 42.733.504.773	-\$ 49.570.865.536
Margen bruto		\$ 33.461.447.250	\$ 38.815.278.810	\$ 45.025.723.420	\$ 52.229.839.167	\$ 60.586.613.433
Costos fijos		-\$ 200.798.400	-\$ 232.926.144	-\$ 270.194.327	-\$ 313.425.419	-\$ 363.573.486
Depreciación		-\$ 2.196.000.000	-\$ 2.196.000.000	-\$ 2.196.000.000	-\$ 2.196.000.000	-\$ 2.196.000.000
Amortización		-\$ 83.200.000	-\$ 83.200.000	-\$ 83.200.000	-\$ 83.200.000	-\$ 83.200.000
Resultado antes de impuestos		\$ 30.981.448.850	\$ 36.303.152.666	\$ 42.476.329.093	\$ 49.637.213.747	\$ 57.943.839.947
Interés de deuda * (1 - T)	\$ 0	\$ 1.748.991.484	\$ 1.489.588.846	\$ 1.191.275.812	\$ 848.215.823	\$ 453.696.835
Impuestos (27 %)		-\$ 8.364.991.190	-\$ 9.801.851.220	-\$ 11.468.608.855	-\$ 13.402.047.712	-\$ 15.644.836.786
Resultado neto		\$ 22.616.457.661	\$ 26.501.301.446	\$ 31.007.720.238	\$ 36.235.166.036	\$ 42.299.003.161
Resultado neto		\$ 22.616.457.661	\$ 26.501.301.446	\$ 31.007.720.238	\$ 36.235.166.036	\$ 42.299.003.161
Depreciación		\$ 2.196.000.000	\$ 2.196.000.000	\$ 2.196.000.000	\$ 2.196.000.000	\$ 2.196.000.000
Amortización		\$ 83.200.000	\$ 83.200.000	\$ 83.200.000	\$ 83.200.000	\$ 83.200.000
NKT	-\$ 4.136.751.923					
Inversión en activos fijos	-\$ 34.313.725.495					
Inversión en activos intangibles	-\$ 416.000.000					
Valor residual						\$ 792.495.112
FCE (flujo de caja económico)	-\$ 38.866.477.418	\$ 24.895.657.661	\$ 28.780.501.446	\$ 33.286.920.238	\$ 38.514.366.036	\$ 45.370.698.273
Deuda	\$ 11.659.943.225	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Amortización de deuda	\$ 0	-\$ 1.729.350.921	-\$ 1.988.753.559	-\$ 2.287.066.593	-\$ 2.630.126.582	-\$ 3.024.645.569
FCF (flujo de caja financiero)	-\$ 27.206.534.192	\$ 24.915.298.223	\$ 28.281.336.733	\$ 32.191.129.456	\$ 36.732.455.276	\$ 42.799.749.539

5.52.2 Análisis de sensibilidad del proyecto

El análisis de sensibilidad se ha efectuado frente a cinco variables del proyecto: precio de venta y cantidad de toneladas anuales procesadas, proporción de costos variables, proporción de deuda financiera en la financiación de la inversión inicial del proyecto e inversión en KTN y crecimiento de ingresos y costos. Los resultados globales son que el proyecto es financieramente viable incluso en los peores escenarios y que es especialmente sensible ante la tasa de crecimiento y la inversión en KTN.

En este sentido, se hizo el análisis de sensibilidad del VAN financiero y económico ante variaciones de la proporción de costos variables. El análisis muestra que el VAN económico

el financiero de la empresa seguirían siendo positivos incluso si la proporción de costos variables asciende hasta el 65 % de los ingresos operacionales del proyecto.

Ilustración 14: Proporción costos variables, VAN financiero.

Proporción de costos variables	VAN financiero
	\$ 63.257.920.113
30,0%	\$ 89.705.614.288
32,5%	\$ 85.297.665.259
35,0%	\$ 80.889.716.230
37,5%	\$ 76.481.767.201
40,0%	\$ 72.073.818.172
42,5%	\$ 67.665.869.142
45,0%	\$ 63.257.920.113
47,5%	\$ 58.849.971.084
50,0%	\$ 54.442.022.055
52,5%	\$ 50.034.073.026
55,0%	\$ 45.626.123.997
57,5%	\$ 41.218.174.968
60,0%	\$ 36.810.225.939
62,5%	\$ 32.402.276.909
65,0%	\$ 27.994.327.880

Ilustración 15: Proporción costos variables, VAN económico

Proporción de costos variables	VAN económico
	\$ 62.689.161.831
30,0%	\$ 91.393.889.336
32,5%	\$ 86.609.768.085
35,0%	\$ 81.825.646.834
37,5%	\$ 77.041.525.584
40,0%	\$ 72.257.404.333
42,5%	\$ 67.473.283.082
45,0%	\$ 62.689.161.831
47,5%	\$ 57.905.040.580
50,0%	\$ 53.120.919.329
52,5%	\$ 48.336.798.078
55,0%	\$ 43.552.676.828
57,5%	\$ 38.768.555.577
60,0%	\$ 33.984.434.326
62,5%	\$ 29.200.313.075
65,0%	\$ 24.416.191.824

Ilustración 16: Gráfico proporción costos variables, VAN económico.

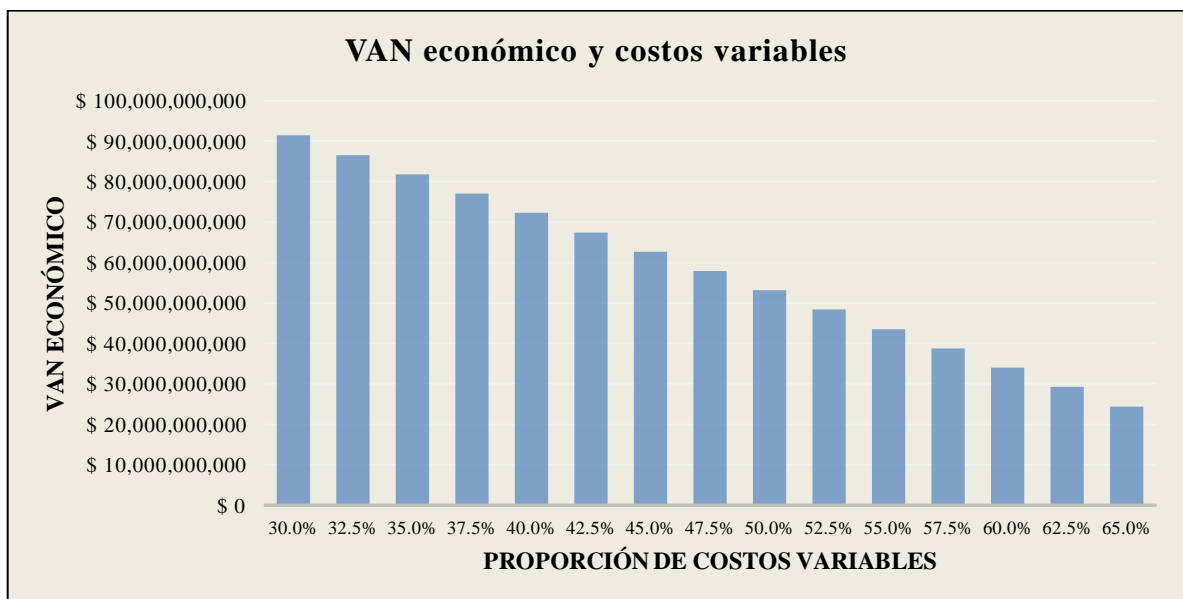
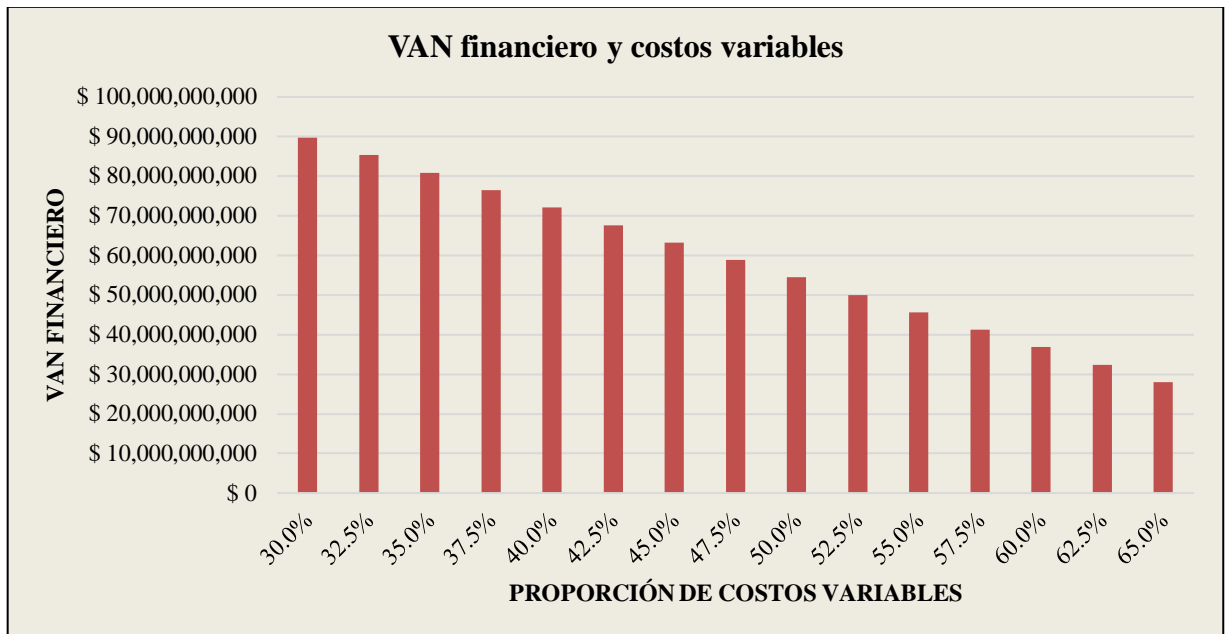


Ilustración 17: : Gráfico proporción costos variables, VAN financiero



Por otro lado, el análisis de sensibilidad frente a la deuda financiera muestra que el VAN financiero del proyecto seguiría siendo positivo incluso si el costo de la deuda se incrementa hasta el 28.5 % —y se financia el 30 % de la inversión inicial solamente— o incluso si se financia el 65 % de la inversión inicial —y el costo de la deuda permanece en el 15%—. En este orden de ideas, se puede asegurar que para el proyecto no son variables críticas el monto de deuda y el costo de la misma, pero que sí presenta cierta sensibilidad ante el costo de la deuda.

Ilustración 18: costo de la deuda, VAN financiero.

Costo de la deuda	VAN financiero
	\$ 63.257.920.113
7,5%	\$ 61.454.530.838
9,0%	\$ 61.809.913.623
10,5%	\$ 62.168.037.134
12,0%	\$ 62.528.807.205
13,5%	\$ 62.892.131.603
15,0%	\$ 63.257.920.113
16,5%	\$ 63.626.084.610
18,0%	\$ 63.996.539.112
19,5%	\$ 64.369.199.828
21,0%	\$ 64.743.985.187
22,5%	\$ 65.120.815.863
24,0%	\$ 65.499.614.782
25,5%	\$ 65.880.307.132
27,0%	\$ 66.262.820.350
28,5%	\$ 66.647.084.119

Ilustración 19: monto de la deuda, VAN financiero.

Monto de la deuda	VAN financiero
	\$ 63.257.920.113
30,0%	\$ 63.257.920.113
32,5%	\$ 62.946.984.412
35,0%	\$ 62.587.501.094
37,5%	\$ 62.175.197.529
40,0%	\$ 61.705.295.198
42,5%	\$ 61.172.434.768
45,0%	\$ 60.570.588.050
47,5%	\$ 59.892.954.254
50,0%	\$ 59.131.837.492
52,5%	\$ 58.278.501.861
55,0%	\$ 57.322.999.839
57,5%	\$ 56.253.969.050
60,0%	\$ 55.058.391.996
62,5%	\$ 53.721.313.131
65,0%	\$ 52.225.508.388

Ilustración 20: Gráfico proporción de deuda, VAN financiero

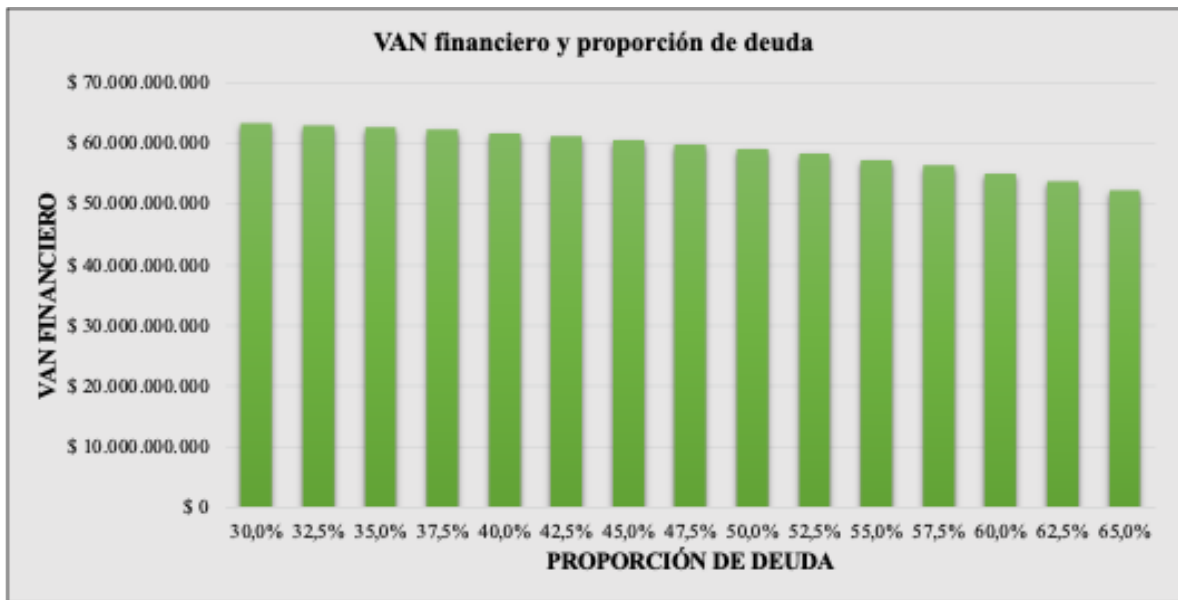
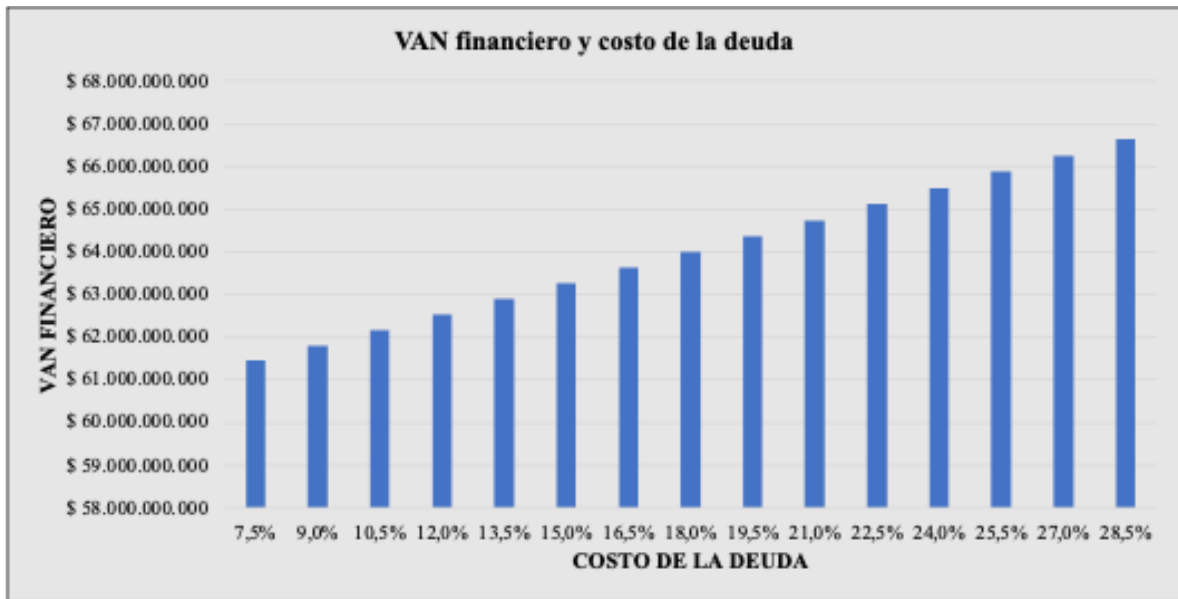


Ilustración 21: Gráfico costo de la deuda, VAN financiero.



El análisis de sensibilidad ante la combinación de dos variables muestra que el proyecto es especialmente sensible ante la inversión en KTN y la tasa de crecimiento de ingresos y costos. En efecto, se observa que, cuando la inversión en KTN disminuye, el VAN económico del proyecto disminuye también. Sin embargo, la sensibilidad del proyecto es mayor ante la tasa de crecimiento, ya que se observa que, si la tasa de crecimiento desciende hasta el 4 % y la inversión en KTN se incrementa hasta el 25 % —de los costos del año 1—, el VAN económico desciende hasta los 42961 millones de pesos. Sin embargo, si la tasa de crecimiento aumenta hasta el 17 % y la inversión en KTN se incrementa hasta el 25 %, el VAN del proyecto crece hasta los 66990 millones de pesos.

Ilustración 22: Combinación de factores Inversión KTN y crecimiento.

Combinación de factores: inversión en KTN y crecimiento

VAN económico	Inversión en capital de trabajo									
	5,0%	7,5%	10,0%	12,5%	15,0%	17,5%	20,0%	22,5%	25,0%	
\$ 62.689.161.831										
4,0%	\$ 48.476.910.117	\$ 47.787.451.463	\$ 47.097.992.810	\$ 46.408.534.156	\$ 45.719.075.502	\$ 45.029.616.848	\$ 44.340.158.195	\$ 43.650.699.541	\$ 42.961.240.887	
5,0%	\$ 49.784.756.438	\$ 49.095.297.784	\$ 48.405.839.130	\$ 47.716.380.476	\$ 47.026.921.823	\$ 46.337.463.169	\$ 45.648.004.515	\$ 44.958.545.861	\$ 44.269.087.208	
6,0%	\$ 51.111.434.246	\$ 50.421.975.592	\$ 49.732.516.939	\$ 49.043.058.285	\$ 48.353.599.631	\$ 47.664.140.977	\$ 46.974.682.324	\$ 46.285.223.670	\$ 45.595.765.016	
7,0%	\$ 52.457.093.729	\$ 51.767.635.075	\$ 51.078.176.421	\$ 50.388.717.767	\$ 49.699.259.114	\$ 49.009.800.460	\$ 48.320.341.806	\$ 47.630.883.152	\$ 46.941.424.499	
8,0%	\$ 53.821.885.096	\$ 53.132.426.442	\$ 52.442.967.788	\$ 51.753.509.135	\$ 51.064.050.481	\$ 50.374.591.827	\$ 49.685.133.173	\$ 48.995.674.520	\$ 48.306.215.866	
9,0%	\$ 55.205.958.582	\$ 54.516.499.928	\$ 53.827.041.274	\$ 53.137.582.620	\$ 52.448.123.967	\$ 51.758.665.313	\$ 51.069.206.659	\$ 50.379.748.005	\$ 49.690.289.352	
10,0%	\$ 56.609.464.443	\$ 55.920.005.789	\$ 55.230.547.136	\$ 54.541.088.482	\$ 53.851.629.828	\$ 53.162.171.174	\$ 52.472.712.521	\$ 51.783.253.867	\$ 51.093.795.213	
11,0%	\$ 58.032.552.958	\$ 57.343.094.304	\$ 56.653.635.650	\$ 55.964.176.997	\$ 55.274.718.343	\$ 54.585.259.689	\$ 53.895.801.035	\$ 53.206.342.382	\$ 52.516.883.728	
12,0%	\$ 59.475.374.424	\$ 58.785.915.771	\$ 58.096.457.117	\$ 57.406.998.463	\$ 56.717.539.809	\$ 56.028.081.156	\$ 55.338.622.502	\$ 54.649.163.848	\$ 53.959.705.194	
13,0%	\$ 60.938.079.161	\$ 60.248.620.507	\$ 59.559.161.853	\$ 58.869.703.200	\$ 58.180.244.546	\$ 57.490.785.892	\$ 56.801.327.238	\$ 56.111.868.585	\$ 55.422.409.931	
14,0%	\$ 62.420.817.504	\$ 61.731.358.850	\$ 61.041.900.197	\$ 60.352.441.543	\$ 59.662.982.889	\$ 58.973.524.235	\$ 58.284.065.582	\$ 57.594.606.928	\$ 56.905.148.274	
15,0%	\$ 63.923.739.808	\$ 63.234.281.155	\$ 62.544.822.501	\$ 61.855.363.847	\$ 61.165.905.193	\$ 60.476.446.540	\$ 59.786.987.886	\$ 59.097.529.232	\$ 58.408.070.578	
16,0%	\$ 65.446.996.446	\$ 64.757.537.792	\$ 64.068.079.138	\$ 63.378.620.485	\$ 62.689.161.831	\$ 61.999.703.177	\$ 61.310.244.523	\$ 60.620.785.870	\$ 59.931.327.216	
17,0%	\$ 66.990.737.805	\$ 66.301.279.151	\$ 65.611.820.497	\$ 64.922.361.843	\$ 64.232.903.190	\$ 63.543.444.536	\$ 62.853.985.882	\$ 62.164.527.228	\$ 61.475.068.575	
18,0%	\$ 68.555.114.288	\$ 67.865.655.635	\$ 67.176.196.981	\$ 66.486.738.327	\$ 65.797.279.673	\$ 65.107.821.020	\$ 64.418.362.366	\$ 63.728.903.712	\$ 63.039.445.058	

Por otro lado, el análisis de sensibilidad frente a la inversión en KTN y la proporción de costos variables muestra que el VAN económico del proyecto descendería hasta algo más de 21646 millones de pesos si la tasa de crecimiento desciende hasta el 4 % y la proporción de costos variables sube hasta el 60 %. Sin embargo, aunque la proporción de costos fuera del 60 %, el VAN del proyecto sería de más de 35106 millones de pesos si la tasa de crecimiento subiera hasta el 17 %. Como se puede ver, el proyecto es especialmente sensible ante la tasa de crecimiento de ingresos y costos a pesar de que estos se incrementan en la misma proporción.

Ilustración 23: Combinación de factores Inversión KTN y proporción de costos variables.

Combinación de factores: inversión en KTN y proporción de costos variables

VAN económico	Proporción de costos variables								
	40,0%	42,5%	45,0%	47,5%	50,0%	52,5%	55,0%	57,5%	60,0%
\$ 62.689.161.831									
4,0%	\$ 53.743.341.395	\$ 49.731.208.448	\$ 45.719.075.502	\$ 41.706.942.556	\$ 37.694.809.609	\$ 33.682.676.663	\$ 29.670.543.717	\$ 25.658.410.771	\$ 21.646.277.824
5,0%	\$ 55.170.197.131	\$ 51.098.559.477	\$ 47.026.921.823	\$ 42.955.284.168	\$ 38.883.646.514	\$ 34.812.008.860	\$ 30.740.371.206	\$ 26.668.733.552	\$ 22.597.095.897
6,0%	\$ 56.617.594.152	\$ 52.485.596.892	\$ 48.353.599.631	\$ 44.221.602.371	\$ 40.089.605.110	\$ 35.957.607.849	\$ 31.825.610.589	\$ 27.693.613.328	\$ 23.561.616.068
7,0%	\$ 58.085.696.358	\$ 53.892.477.736	\$ 49.699.259.114	\$ 45.506.040.491	\$ 41.312.821.869	\$ 37.119.603.247	\$ 32.926.384.625	\$ 28.733.166.002	\$ 24.539.947.380
8,0%	\$ 59.574.667.673	\$ 55.319.359.077	\$ 51.064.050.481	\$ 46.808.741.885	\$ 42.553.433.288	\$ 38.298.124.692	\$ 34.042.816.096	\$ 29.787.507.500	\$ 25.532.198.904
9,0%	\$ 61.084.672.045	\$ 56.766.398.006	\$ 52.448.123.967	\$ 48.129.849.928	\$ 43.811.575.888	\$ 39.493.301.849	\$ 35.175.027.810	\$ 30.856.753.771	\$ 26.538.479.732
10,0%	\$ 62.615.873.444	\$ 58.233.751.636	\$ 53.851.629.828	\$ 49.469.508.020	\$ 45.087.386.212	\$ 40.705.264.404	\$ 36.323.142.596	\$ 31.941.020.788	\$ 27.558.898.980
11,0%	\$ 64.168.435.862	\$ 59.721.577.103	\$ 55.274.718.343	\$ 50.827.859.583	\$ 46.381.000.823	\$ 41.934.142.063	\$ 37.487.283.304	\$ 33.040.424.544	\$ 28.593.565.784
12,0%	\$ 65.742.523.312	\$ 61.230.031.560	\$ 56.717.539.809	\$ 52.205.048.058	\$ 47.692.556.307	\$ 43.180.064.556	\$ 38.667.572.805	\$ 34.155.081.054	\$ 29.642.589.302
13,0%	\$ 67.338.299.824	\$ 62.759.272.185	\$ 58.180.244.546	\$ 53.601.216.907	\$ 49.022.189.268	\$ 44.443.161.629	\$ 39.864.133.989	\$ 35.285.106.350	\$ 30.706.078.711
14,0%	\$ 68.955.929.450	\$ 64.309.456.169	\$ 59.662.982.889	\$ 55.016.509.609	\$ 50.370.036.328	\$ 45.723.563.048	\$ 41.077.089.767	\$ 36.430.616.487	\$ 31.784.143.206
15,0%	\$ 70.595.576.258	\$ 65.880.740.726	\$ 61.165.905.193	\$ 56.451.069.661	\$ 51.736.234.129	\$ 47.021.398.597	\$ 42.306.563.065	\$ 37.591.727.533	\$ 32.876.892.001
16,0%	\$ 72.257.404.333	\$ 67.473.283.082	\$ 62.689.161.831	\$ 57.905.040.580	\$ 53.120.919.329	\$ 48.336.798.078	\$ 43.552.676.828	\$ 38.768.555.577	\$ 33.984.434.326
17,0%	\$ 73.941.577.777	\$ 69.087.240.483	\$ 64.232.903.190	\$ 59.378.565.896	\$ 54.524.228.602	\$ 49.669.891.309	\$ 44.815.554.015	\$ 39.961.216.721	\$ 35.106.879.428
18,0%	\$ 75.648.260.708	\$ 70.722.770.191	\$ 65.797.279.673	\$ 60.871.789.156	\$ 55.946.298.639	\$ 51.020.808.121	\$ 46.095.317.604	\$ 41.169.827.087	\$ 36.244.336.569

El análisis de sensibilidad del VAN económico muestra que el proyecto sigue siendo financieramente viable incluso si el precio desciende hasta un 26.5 % —hasta los \$2672 por kilogramo— y la cantidad de kilogramos procesados y convertidos en el producto final descendiera hasta los 15 millones —es decir, tan solo 15 000 toneladas—. También se observa que, incluso si el precio de venta se redujera en esa misma proporción del 26.5 % y el costo variable se incrementara hasta el 65 % de los ingresos, el VAN del proyecto seguiría siendo positivo: 9090 millones de pesos. Lo llamativo de la combinación de estas dos variables es que el proyecto es más sensible ante el precio de venta que ante la proporción del costo variable.

Ilustración 24: : Combinación de factores precio de venta y proporción de costos variables.

Combinación de factores: precio de venta y proporción de costos variables

VAN económico	Proporción de costos variables								
	45,0%	47,5%	50,0%	52,5%	55,0%	57,5%	60,0%	62,5%	65,0%
\$ 62.689.161.831									
\$ 2.672,06	\$ 37.224.917.959	\$ 33.708.149.224	\$ 30.191.380.489	\$ 26.674.611.754	\$ 23.157.843.018	\$ 19.641.074.283	\$ 16.124.305.548	\$ 12.607.536.812	\$ 9.090.768.077
\$ 2.812,69	\$ 40.943.895.559	\$ 37.242.033.733	\$ 33.540.171.906	\$ 29.838.310.079	\$ 26.136.448.253	\$ 22.434.586.426	\$ 18.732.724.600	\$ 15.030.862.773	\$ 11.329.000.946
\$ 2.960,73	\$ 44.858.608.822	\$ 40.961.912.163	\$ 37.065.215.503	\$ 33.168.518.843	\$ 29.271.822.184	\$ 25.375.125.524	\$ 21.478.428.865	\$ 17.581.732.205	\$ 13.685.035.546
\$ 3.116,56	\$ 48.979.359.625	\$ 44.877.573.668	\$ 40.775.787.710	\$ 36.674.001.753	\$ 32.572.215.796	\$ 28.470.429.838	\$ 24.368.643.881	\$ 20.266.857.923	\$ 16.165.071.966
\$ 3.280,59	\$ 53.316.992.050	\$ 48.999.322.621	\$ 44.681.653.192	\$ 40.363.983.763	\$ 36.046.314.334	\$ 31.728.644.905	\$ 27.410.975.476	\$ 23.093.306.047	\$ 18.775.636.619
\$ 3.453,25	\$ 57.882.920.918	\$ 53.338.005.729	\$ 48.793.090.541	\$ 44.248.175.353	\$ 39.703.260.164	\$ 35.158.344.976	\$ 30.613.429.788	\$ 26.068.514.599	\$ 21.523.599.411
\$ 3.635,00	\$ 62.689.161.831	\$ 57.905.040.580	\$ 53.120.919.329	\$ 48.336.798.078	\$ 43.552.676.828	\$ 38.768.555.577	\$ 33.984.434.326	\$ 29.200.313.075	\$ 24.416.191.824
\$ 3.816,75	\$ 67.495.402.744	\$ 62.472.075.431	\$ 57.448.748.118	\$ 52.425.420.804	\$ 47.402.093.491	\$ 42.378.766.177	\$ 37.355.438.864	\$ 32.332.111.551	\$ 27.308.784.237
\$ 4.007,59	\$ 72.541.955.704	\$ 67.267.462.024	\$ 61.992.968.345	\$ 56.718.474.666	\$ 51.443.980.987	\$ 46.169.487.308	\$ 40.894.993.629	\$ 35.620.499.950	\$ 30.346.006.271
\$ 4.207,97	\$ 77.840.836.311	\$ 72.302.617.948	\$ 66.764.399.585	\$ 61.226.181.222	\$ 55.687.962.859	\$ 50.149.744.495	\$ 44.611.526.132	\$ 39.073.307.769	\$ 33.535.089.406
\$ 4.418,37	\$ 83.404.660.948	\$ 77.589.531.667	\$ 71.774.402.386	\$ 65.959.273.105	\$ 60.144.143.823	\$ 54.329.014.542	\$ 48.513.885.261	\$ 42.698.755.980	\$ 36.883.626.699
\$ 4.639,28	\$ 89.246.676.817	\$ 83.140.791.072	\$ 77.034.905.327	\$ 70.929.019.582	\$ 64.823.133.836	\$ 58.717.248.091	\$ 52.611.362.346	\$ 46.505.476.601	\$ 40.399.590.855
\$ 4.871,25	\$ 95.380.793.480	\$ 88.969.613.448	\$ 82.558.433.415	\$ 76.147.253.383	\$ 69.736.073.350	\$ 63.324.893.318	\$ 56.913.713.285	\$ 50.502.533.253	\$ 44.091.353.220
\$ 5.114,81	\$ 101.821.615.976	\$ 95.089.876.942	\$ 88.358.137.908	\$ 81.626.398.874	\$ 74.894.659.840	\$ 68.162.920.805	\$ 61.431.181.771	\$ 54.699.442.737	\$ 47.967.703.703
\$ 5.370,55	\$ 108.584.479.597	\$ 101.516.153.611	\$ 94.447.827.625	\$ 87.379.501.639	\$ 80.311.175.653	\$ 73.242.849.668	\$ 66.174.523.682	\$ 59.106.197.696	\$ 52.037.871.710

5.52.3 Análisis de escenarios del proyecto

El análisis de escenarios del proyecto realizado se ha enfocado en tres variables clave: la tasa de crecimiento de los ingresos y los costos, la proporción de costos variables y la inversión en KTN.

En el escenario normal o previsto, la proporción de costos variables es del 45 %, la tasa de crecimiento es del 16 % y la inversión en KTN corresponde al 15 % de los costos operacionales del proyecto del primer año de operaciones. En este escenario, en VAN económico asciende a los 62689 millones de pesos, mientras que el VAN financiero alcanza un monto de 63257 millones de pesos.

Por otra parte, en el escenario optimista la proporción de costos variables es del 40 %, la tasa de crecimiento es del 17 % y la inversión en KTN corresponde al 10 % de los costos operacionales del proyecto del primer año de operaciones. En este escenario, en VAN económico asciende a los 73941 millones de pesos, mientras que el VAN financiero alcanza un monto de 102941 millones de pesos.

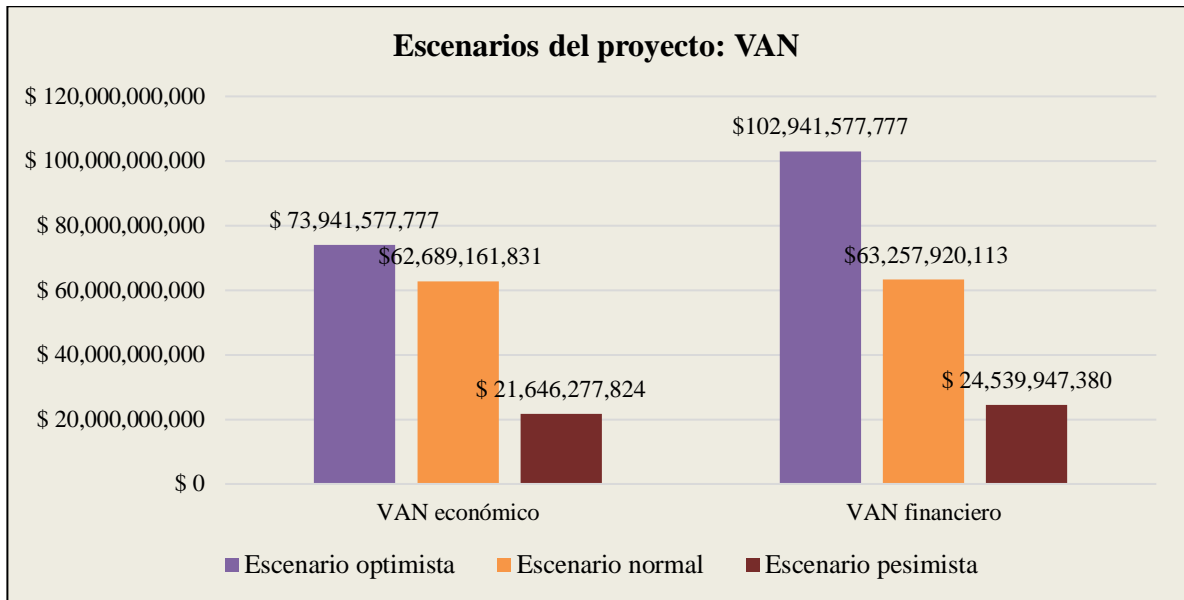
Finalmente, en el escenario pesimista la proporción de costos variables es del 60 %, la tasa de crecimiento es del 4 % y la inversión en KTN corresponde al 25 % de los costos operacionales del proyecto del primer año de operaciones. En este escenario, en VAN económico desciende notoriamente a los 21646 millones de pesos, mientras que el VAN financiero alcanza un monto de tan solo 24898 millones de pesos.

Como se puede observar, las variables críticas del proyecto son la tasa de crecimiento de los ingresos y costos, la proporción de costos variables y la inversión en KTN. La virtud financiera del proyecto radica en que sigue generando valor incluso en el peor escenario previsto.

Ilustración 25: Resumen escenarios VAN.

Resumen del escenario			
	Escenario optimista	Escenario normal	Escenario pesimista
Proporción de CV	40,0%	45,0%	60,0%
Inversión en KTN	10,0%	15,0%	25,0%
Crecimiento	17,0%	16,0%	4,0%
VAN económico	\$ 73.941.577.777	\$ 62.689.161.831	\$ 21.646.277.824
VAN financiero	\$ 102.941.577.777	\$ 63.257.920.113	\$ 24.539.947.380

Ilustración 26: Gráfico del VAN de los escenarios del proyecto.



CAPÍTULO 6: Conclusiones y Recomendaciones

El desarrollo de este trabajo de tesis permitió abordar una problemática ambiental relevante, vinculada a la acumulación de residuos plásticos, específicamente botellas de PET, y la necesidad de encontrar soluciones sostenibles desde una perspectiva técnico-económica. La empresa CCU, a través de su planta CirCCUlar, ya ha dado un paso significativo en la adopción de un modelo de economía circular mediante el reciclaje de botellas para la producción de nuevas. Sin embargo, el desafío de maximizar la valorización del PET reciclado abre la posibilidad de implementar subprocesos complementarios que aumenten el aprovechamiento de este material.

A partir de esta premisa, el trabajo tuvo como objetivo principal la evaluación técnica y económica de un subproceso orientado a la producción de hilo plástico tipo zuncho a partir de escamas de PET recicladas. Para ello, se realizó un modelamiento del proceso actual bajo la metodología "As Is" utilizando el software Bizagi, lo que permitió visualizar de manera estructurada cada etapa involucrada en la transformación de botellas en escamas y proponer un flujo operativo complementario para la fabricación del nuevo producto.

La evaluación técnica consideró el análisis del tipo de maquinaria requerida, el consumo energético estimado y el personal necesario para operar el subproceso. Este análisis permitió confirmar la viabilidad técnica del proceso, dado que las tecnologías involucradas están disponibles en el mercado, son compatibles con el entorno industrial de CCU y permiten obtener un producto de buena calidad, con características adecuadas para su uso en aplicaciones industriales, agrícolas y logísticas.

Desde el punto de vista económico, se desarrolló un flujo financiero proyectado a cinco años, considerando tres escenarios de crecimiento (pesimista, normal y optimista), en los cuales se incorporaron variables como ingresos por ventas, costos de producción, inversión inicial y gastos operacionales (GAV). Los resultados demostraron que el subproceso es económicamente rentable en los escenarios normal y optimista, generando un margen de beneficio sostenido en el tiempo. A pesar de que el escenario pesimista mostró una menor rentabilidad, el proyecto aún podría ser viable si se gestionan eficientemente los costos y se diversifican los canales de comercialización.

En síntesis, el proyecto presentado no solo demuestra ser una alternativa viable desde los puntos de vista técnico y financiero, sino que también representa una oportunidad estratégica para CCU de fortalecer su compromiso con la sostenibilidad. La implementación del subproceso de hilo plástico permite reducir la cantidad de residuos plásticos no valorizados, crear un nuevo producto comercializable y avanzar hacia una economía más circular y eficiente en el uso de los recursos.

En cuanto a las recomendaciones:

1. Implementar el subproceso de manera progresiva, comenzando con una planta piloto o línea de producción reducida que permita validar los parámetros técnicos y ajustar los costos reales antes de una inversión a gran escala.
2. Realizar estudios de mercado específicos sobre la demanda y aplicaciones del hilo plástico tipo zuncho en distintos sectores, como la agricultura, la construcción o la industria alimentaria, con el fin de diversificar su uso y asegurar su comercialización.
3. Optimizar el sistema de recolección y clasificación del PET, mejorando la calidad del material entrante al subproceso para asegurar un producto final homogéneo y con menores costos de procesamiento.
4. Buscar certificaciones ambientales o de economía circular que agreguen valor al producto final y lo posicionen mejor en el mercado, especialmente frente a compradores institucionales o empresas con compromisos ESG.
5. Capacitar al personal involucrado en el nuevo subproceso, tanto en el uso de maquinaria como en prácticas sostenibles de producción, garantizando eficiencia operativa y reduciendo errores que puedan generar desperdicio o sobrecostos.

6. Explorar alternativas de financiamiento o subsidios gubernamentales para proyectos de innovación ambiental, los cuales podrían ayudar a reducir la carga financiera inicial de inversión y acelerar la implementación.

7. Establecer un sistema de monitoreo y mejora continua, utilizando indicadores técnicos y financieros que permitan evaluar el rendimiento del proceso, identificar oportunidades de mejora y asegurar la rentabilidad sostenida del proyecto en el tiempo.

8. Considerar la posibilidad de reutilizar residuos secundarios del proceso o integrarlos a nuevos ciclos productivos, con el fin de cerrar aún más el ciclo de vida del PET reciclado y aumentar la eficiencia global del sistema.

CAPÍTULO 7: Glosario.

PET (Polietileno Tereftalato): tipo de plástico reciclable ampliamente utilizado en la fabricación de botellas y envases. Su reciclaje permite obtener nuevos productos como escamas, filamentos o hilo plástico.

Hilo Plástico Tipo Zuncho: producto elaborado a partir de PET reciclado, utilizado principalmente para embalaje y sujeción de cargas. Posee propiedades mecánicas como resistencia y flexibilidad.

Economía Circular: modelo de producción y consumo que promueve la reutilización, reciclaje y valorización de los residuos, reduciendo la generación de desechos y el uso de recursos vírgenes.

Reciclaje Mecánico: proceso físico mediante el cual los residuos plásticos son transformados en nuevos productos sin alterar su estructura química.

Escamas de PET: fragmentos pequeños obtenidos tras el triturado de botellas plásticas, utilizados como materia prima en procesos de extrusión y fabricación de nuevos productos.

Extrusión: proceso mediante el cual el PET fundido es moldeado en forma de filamento continuo a través de una boquilla.

GAV (Gastos de Administración y Ventas): costos fijos asociados a la operación de la empresa, independientemente del volumen de producción, como sueldos, energía y mantenimiento.

Modelamiento "As Is": representación gráfica del proceso tal como existe actualmente, utilizado para analizar, mejorar y diseñar procesos en herramientas como Bizagi.

Sustentabilidad: capacidad de un sistema para mantenerse en el tiempo sin agotar los recursos naturales, asegurando un equilibrio entre lo económico, social y ambiental.

Maquinaria Industrial: equipos necesarios para realizar los distintos procesos de reciclaje, desde la trituración hasta la extrusión y enrollado del producto final.

Eficiencia Energética: relación entre la cantidad de energía utilizada y el resultado obtenido en un proceso productivo, clave para reducir costos operacionales y el impacto ambiental.

Rentabilidad: capacidad de un proyecto para generar utilidades, medida en función del beneficio obtenido respecto de la inversión realizada.

CAPÍTULO 8: Bibliografía

- [1] European Parliament. (2021). Circular economy and plastics. European Parliament. <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/20210128STO96206/circular-economy-definition-importance-and-benefits>
- [2] Geissdoerfer, M., et al. (2017). "The circular economy—A new sustainability paradigm?" *Journal of Cleaner Production*.
https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2215-34032021000100083#B15
- [3] Geyer, R., et al. (2020). "Production, use, and fate of all plastics ever made." *Science Advances*.
<https://www.science.org/doi/full/10.1126/sciadv.1700782>
- [4] Leal Filho, W., et al. (2019). "Sustainability and sustainable development in the plastic industry." *Journal of Cleaner Production*.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618339799>
- [5] Hopewell, J., et al. (2020). "Plastics recycling: challenges and opportunities." *Philosophical Transactions of the Royal Society B*.
<https://royalsocietypublishing.org/doi/abs/10.1098/rstb.2008.0311>
- [6] Indorama Ventures. (2023). *Sustainability Report*. Recuperado de Indorama Ventures Sustainability <https://sustainability.indoramaventures.com/en/home>
- [7] Patagonia. (2023). *Our Footprint*. Recuperado de Patania Sustainability <https://www.patagonia.com/our-footprint/>
- [8] Unifi, Inc. (2023). *REPREVE*. Recuperado de Unifi <https://investor.unifi.com/news-releases/news-release-details/unifir-makers-reprever-announces-fourth-quarter-and-fiscal-2023>

[9] AZA. (2023). "Sostenibilidad y Acero Reciclado." <https://www.aza.com/sostenibilidad>

[10] López, J., et al. (2021). "Innovaciones en la Producción de Acero Reciclado." *Revista de Ingeniería y Tecnología*.

[11] Eds Robotics. (n.d.). ¿Qué es el proceso industrial? Eds Robotics. <https://www.edsrobotics.com/blog/proceso-industrial-que-es/>

[12] Mapex. (n.d.). Cómo reducir los reprocesos con Mapex. <https://mapex.io/news/como-reducir-los-reprocesos-con-mapex/#:~:text=Los%20retrabajos%20en%20el%20entorno,los%20criterios%20de%20calidad%20necesarios>

[13] Neomind. (n.d.). *¿Qué es el mapeo de procesos AS IS / TO BE?* Recuperado el 23 de septiembre de 2024, de <https://www.neomind.com.br/es/blog/que-es-el-mapeo-de-procesos-como-es-ser-ser/#:~:texto=El%20Mapeo%20de%20procesos%20AS%20IS%20%2F%20TO%20BE%20es%20una,actividades%20del%20día%20a%20día>.

[14] Organización Panamericana de la Salud. (2023, August 16). Expertos discuten impacto de microplásticos en la salud y alertan sobre el aumento de su propagación . <https://www.paho.org/es/noticias/16-8-2023-expertos-discuten-impacto-microplasticos-salud-alertan-aumento-su-propagacion>

[15] Cámara de Comercio de Santiago. (2022, March 15). Nueva ley de plásticos de un solo uso que obliga a las empresas a la producción de productos retornables. <https://www.ccs.cl/2022/03/15/nueva-ley-de-plasticos-de-un-solo-uso-que-obliga-a-las-empresas-a-la-produccion-de-productos-retornables/>

[16] SMV. (n.d.). ¿Cómo realizar un correcto tratamiento de residuos plásticos?. <https://www.smv.es/como-realizar-correcto-tratamiento-residuos-plasticos/>

[17] AIMPLAS. (n.d.). Gasificación: Método termoquímico para el tratamiento sostenible de residuos. [https://www.aimplas.es/blog/gasificacion-metodo-termoquimico-para-el-tratamiento-sostenible-de-](https://www.aimplas.es/blog/gasificacion-metodo-termoquimico-para-el-tratamiento-sostenible-de-residuos/#:~:text=La%20gasificación%20es%20una%20tecnología,e%20material%20reac)

[residuos/#:~:text=La%20gasificación%20es%20una%20tecnología,e%20material%20reac](https://www.aimplas.es/blog/gasificacion-metodo-termoquimico-para-el-tratamiento-sostenible-de-residuos/#:~:text=La%20gasificación%20es%20una%20tecnología,e%20material%20reac)

[cione%20sin%20combustión](https://www.aimplas.es/blog/gasificacion-metodo-termoquimico-para-el-tratamiento-sostenible-de-residuos/#:~:text=La%20gasificación%20es%20una%20tecnología,e%20material%20reac)

[18] AIMPLAS. (n.d.). Pirólisis: El método termoquímico para la transformación sostenible de los residuos. [https://www.aimplas.es/blog/pirolisis-el-metodo-termoquimico-para-la-](https://www.aimplas.es/blog/pirolisis-el-metodo-termoquimico-para-la-transformacion-sostenible-de-los-residuos/#:~:text=La%20pirólisis%20es%20un%20proceso,un%20suministro%20limitado)

[transformacion-sostenible-de-los-](https://www.aimplas.es/blog/pirolisis-el-metodo-termoquimico-para-la-transformacion-sostenible-de-los-residuos/#:~:text=La%20pirólisis%20es%20un%20proceso,un%20suministro%20limitado)

[residuos/#:~:text=La%20pirólisis%20es%20un%20proceso,un%20suministro%20limitado](https://www.aimplas.es/blog/pirolisis-el-metodo-termoquimico-para-la-transformacion-sostenible-de-los-residuos/#:~:text=La%20pirólisis%20es%20un%20proceso,un%20suministro%20limitado)

[%20de%20oxígeno](https://www.aimplas.es/blog/pirolisis-el-metodo-termoquimico-para-la-transformacion-sostenible-de-los-residuos/#:~:text=La%20pirólisis%20es%20un%20proceso,un%20suministro%20limitado)

[19] Plastics Technology México. (n.d.). Rutas opcionales para el reciclado de materiales plásticos. [https://www.pt-mexico.com/articulos/rutas-opcionales-para-el-reciclado-de-](https://www.pt-mexico.com/articulos/rutas-opcionales-para-el-reciclado-de-materiales-plasticos/#:~:text=Reciclado%20T%C3%A9rmico%20o%20Term%C3%B3lisis,como%20a)

[materiales-](https://www.pt-mexico.com/articulos/rutas-opcionales-para-el-reciclado-de-materiales-plasticos/#:~:text=Reciclado%20T%C3%A9rmico%20o%20Term%C3%B3lisis,como%20a)

[plasticos/#:~:text=Reciclado%20T%C3%A9rmico%20o%20Term%C3%B3lisis,como%20a](https://www.pt-mexico.com/articulos/rutas-opcionales-para-el-reciclado-de-materiales-plasticos/#:~:text=Reciclado%20T%C3%A9rmico%20o%20Term%C3%B3lisis,como%20a)

[ceite%20crudo%20o%20gas](https://www.pt-mexico.com/articulos/rutas-opcionales-para-el-reciclado-de-materiales-plasticos/#:~:text=Reciclado%20T%C3%A9rmico%20o%20Term%C3%B3lisis,como%20a)

[20] Bizagi. (n.d.). Modelamiento de procesos*. [https://www.bizagi.com/es/modelamiento-](https://www.bizagi.com/es/modelamiento-de-procesos/#:~:text=Modelar%20los%20procesos%20proporcionan%20una,planificar%20los)

[de-](https://www.bizagi.com/es/modelamiento-de-procesos/#:~:text=Modelar%20los%20procesos%20proporcionan%20una,planificar%20los)

[procesos/#:~:text=Modelar%20los%20procesos%20proporcionan%20una,planificar%20los](https://www.bizagi.com/es/modelamiento-de-procesos/#:~:text=Modelar%20los%20procesos%20proporcionan%20una,planificar%20los)

[%20proyectos%20de%20automatizaci%C3%B3n](https://www.bizagi.com/es/modelamiento-de-procesos/#:~:text=Modelar%20los%20procesos%20proporcionan%20una,planificar%20los)

[21] Chakray. (n.d.). ¿Qué es el BPMN y para qué sirve?. [https://www.chakray.com/es/que-](https://www.chakray.com/es/que-es-el-bpmn-y-para-que-sirve/)

[es-el-bpmn-y-para-que-sirve/](https://www.chakray.com/es/que-es-el-bpmn-y-para-que-sirve/)

[22] Concepto.de. (n.d.). Flujoograma.

<https://concepto.de/flujoograma/#:~:text=Permite%20describir%20la%20toma%20de,inicio>

[%20y%20final%20claramente%20reconocibles](https://concepto.de/flujoograma/#:~:text=Permite%20describir%20la%20toma%20de,inicio)

[23] Aula 21. (n.d.). ¿Qué es la simulación de procesos industriales?.

<https://www.cursosaula21.com/que-es-la-simulacion-de-procesos-industriales/>

[24] Universidad de Sonora. (n.d.). Capítulo 3: Modelado y simulación de sistemas de manufactura. Tesis Digital. <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/22832/Capitulo3.pdf>

[25] Parlamento Europeo. (2015, December 1). Economía circular: Definición, importancia y beneficios. <https://www.europarl.europa.eu/topics/es/article/20151201STO05603/economia-circular-definicion-importancia-y-beneficios>

[26] Enel Green Power. (n.d.). Economía circular: ¿Qué es y cómo funciona?. <https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/desarrollo-sostenible/economia-circular>

[27] Compañía de Cervecerías Unidas. (2023). Memoria anual CCU 2023. CCU. https://www.ccu.cl/wp-content/uploads/2024/04/memoria_anual_CCU_2023.pdf

[28] Compañía de Cervecerías Unidas. (n.d.). Conócenos. CCU. <https://www.ccu.cl/conocenos/>

[29] Compañía de Cervecerías Unidas. (2023). Memoria anual CCU 2023. CCU. https://www.ccu.cl/wp-content/uploads/2024/04/memoria_anual_CCU_2023.pdf

[30] Compañía de Cervecerías Unidas. (n.d.). CCU pone en marcha la primera planta de reciclaje de botellas plásticas en Chile. CCU. <https://www.ccu.cl/ccu-pone-en-marcha-la-primera-planta-de-reciclaje-de-botellas-plasticas-en-chile/>

[31] Compañía de Cervecerías Unidas. (n.d.). CCU dará una nueva vida a 870 millones de botellas PET al construir innovadora planta. CCU. <https://www.ccu.cl/ccu-dara-una-nueva-vida-a-870-millones-de-botellas-pet-al-construir-innovadora-planta/>

[32] ThoughtCo. (n.d.). Plastic recycling process. <https://www.thoughtco.com/plastic-recycling-facts-and-figures-2877863>

- [33] Rubicon Global. (n.d.). The plastic recycling process explained. <https://www.rubiconglobal.com/blog/how-does-plastic-recycling-work/>
- [34] Recycling Today. (n.d.). Recycling operations & management. <https://www.recyclingtoday.com/article/recycling-operations-and-management/>
- [35] National Geographic. (n.d.). Environmental impact of plastic waste and recycling. <https://www.nationalgeographic.com/environment/article/plastic-waste>
- [36] Plastics Technology. (n.d.). Pelletizing system and extrusion process. <https://www.plasticstechnology.com/knowledgecenter/pelletizing-system>
- [37] Apex Plastic Solutions. (n.d.). Plastic extrusion process explained. <https://www.apexplasticssolutions.com/plastic-extrusion-process/>
- [38] Greenpeace. (n.d.). Sustainability in plastic recycling. <https://www.greenpeace.org/international/story/46504/sustainable-plastic-recycling/>
- [39] Sintac. (2023). Reciclaje del PET: Cómo se recicla y reusa el tereftalato de polietileno. <https://sintac.es/reciclaje-del-pet-como-se-recicla-y-reusa-el-tereftalato-de-polietileno/>
- [40] A1 Contenedores. (n.d.). Proceso de reciclado del PET. <https://a1contenedores.com.mx/blog/proceso-de-reciclado-del-pet/>
- [41] Sasipa. (n.d.). Tarifas eléctricas de Sasipa. <https://www.sasipa.cl/tarifas-electricas/>
- [42] Hays Chile. (2024). Guía de salarios 2024. Recuperado de https://www.hays.cl/documents/d/hays-chile/salary_guide_2024_cl
- [43] CCU. (2023). CCU inicia operación del primer camión de alto tonelaje 100% eléctrico en Chile. <https://www.ccu.cl/ccu-inicia-operacion-del-primer-camion-de-alto-tonelaje-100-electrico-en-chile/>

[44] Sesotec. (n.d.). Sistemas de clasificación de reciclaje con cinta transportadora. <https://www.sesotec.com/emea/es/productos/grupos/sistemas-de-clasificacion-de-reciclaje-con-cinta-transportadora>

[45] Magri. (n.d.). Lavadora de plásticos PET fricción R4M 380v 75kw. <https://www.magri.cl/0-lavadora-de-plasticos-pet-friccion-r4m-380v-75kw>

[46] Plumer. (n.d.). Línea de reciclaje de plásticos PET. https://www.plumer.cl/?L=S1&Id=2&gad_source=1&gbraid=0AAAAAQuJCTLt6ilv398jnP4uq7yuZBftO&gclid=Cj0KCOjwxsm3BhDrARIsAMtVz6MWWin1pE28D0-gC0wPEpwZJbAltIpaopOU3YUk2j8ZQOH0wSotxxoaAiBFEALw_wcB

[47] Magri. (n.d.). Secador de plásticos PET 380v 75kw [R37M.https://www.magri.cl/0-secador-de-plasticos-pet-380v-75kw-r37m](https://www.magri.cl/0-secador-de-plasticos-pet-380v-75kw-r37m)

[48] Metrafil. (n.d.). Secador industrial de plásticos. <https://www.metrafil.com/noticias/secador-industrial#:~:text=Su%20funci%C3%B3n%20principal%20es%20la,aire%20debe%20ser%20muy%20alto>

[49] Atlas Copco. (n.d.). Sistemas industriales de enfriamiento de agua. <https://www.atlascopco.com/es-cl/compressors/products/industrial-water-cooling-systems>

[50] Educaweb. (n.d.). Tecnólogo de polímeros. <https://www.educaweb.com/profesion/tecnologo-polimeros-534/#:~:text=Los%20tecn%C3%B3logos%20de%20pol%C3%ADmeros%20trabajan,estructura%20de%20los%20materiales%20polim%C3%A9ricos>

[51] Plastemart. (n.d.). Recicladora de plásticos PET. <https://www.plastemart.com>

- [52] Todo en Polímeros. (2017). Orientación molecular uni y bi-axial. <https://todoenpolimeros.com/2017/08/21/orientacion-uni-y-bi-axial/#:~:text=La%20orientaci%C3%B3n%20molecular%20uni%20o,y%20en%20particular%2C%20de%20pel%C3%ADculas>
- [53] CIMED. (n.d.). Máquina bobinadora marca Schleich. <https://cimed.cl/product/maquina-bobinadora-marca-schleich/>
- [54] The Muse. (n.d.). Winder operator. https://www.themuse.com.translate.google/jobs/pactiv/winder-operator-5041ba?x_tr_sl=en&x_tr_tl=es&x_tr_hl=es&x_tr_pto=rq&x_tr_hist=true#
- [55] Bind. (n.d.). Supervisor de almacén. <https://bind.com.mx/blog/control-de-inventarios/supervisor-de-almacen#:~:text=Un%20supervisor%20de%20almac%C3%A9n%20es,un%20almac%C3%A9n%2C%20bodega%20o%20dep%C3%B3sito>
- [56] Torontech. (n.d.). Línea de reciclaje de plástico PET con sistema de polimerización. <https://torontech.com/es/pet-plastic-recycling-machine-line-with-polymerization-system/>
- [57] Gampack. (n.d.). Envolvedoras film. https://www.gampack.cl/maquinas-y-herramientas/envolvedoras-film/?gad_source=1&gbraid=0AAAAADRgfr5wVKLvvhsgMI0giDxdRo&gclid=Cj0KCQjwjNS3BhChARIsAOxBM6r78aqbpWEf9jh0oo7fgSwNY-BXD0xiHIs9FHTIyCSX_cVoOh-GO98aAh_wEALw_wcB
- [58] Torontech. (n.d.). Línea de reciclaje de plástico PET con sistema de polimerización. <https://torontech.com/es/pet-plastic-recycling-machine-line-with-polymerization-system/>
- [59] CCU. (n.d.). CCU inicia operación del primer camión de alto tonelaje 100% eléctrico en Chile. <https://www.ccu.cl/ccu-inicia-operacion-del-primer-camion-de-alto-tonelaje-100-electrico-en-chile/>

[60] CCU. (n.d.). Portal de proveedores. <https://www.ccu.cl/nuestros-proveedores/portal-de-proveedores/>

[1.1] Productos y maquinarias cotizados personalmente en conversación con la empresa.

[1.2] Productos y maquinarias cotizados en el mercado.

[61] Haddad S.A. (n.d.). Reciclaje de PET en Chile. <http://www.haddad.cl/pet.html>

[62] Universidad Técnica Federico Santa María. (n.d.). El reciclaje es la última opción que se tiene cuando los residuos se han producido. <https://usm.cl/noticias/el-reciclaje-es-la-ultima-opcion-que-se-tiene-cuando-los-residuos-se-han-producido/>

[63] Universidad Técnica Federico Santa María. (2023). Optimización de procesos de reciclaje de PET. <https://repositorio.usm.cl/handle/11673/56160>

[64] Aaron Equipment. (n.d.). Used equipment: Plastics equipment. <https://www.aaronequipment.com/usedequipment/plastics-equipment/size-reduction-dual-rotor-or-single-rotor-shredders/vecoplan-42-30-51743001>

[65] Erema. (n.d.). Plastic recycling solutions. <https://www.erema.com>

[66] Plastico. (n.d.). Todo sobre las trituradoras de plástico: Aplicaciones y ventajas. <https://www.plastico.com/es/noticias/todo-sobre-las-trituradoras-de-plastico-aplicaciones-y-ventajas>

[67] Vecoplan. (n.d.). Vecoplan industrial shredders. <https://vecoplan.com/en>

[68] MC Services. (n.d.). Servicios de mantenimiento y reparación industrial. <https://www.mcservicesac.com>

[69] CMG Granulators. (n.d.). Granulators and shredders. <https://www.cmg-granulators.com>

[70] TheGlobalEconomy.com. (2024). Chile: Rentabilidad del mercado bursátil.
https://es.theglobaleconomy.com/Chile/Stock_market_return/

[71] Trading Economics. (2024). Chile - Rendimiento de los bonos del gobierno.
<https://es.tradingeconomics.com/chile/government-bond-yield>

[72] Damodaran, A. (2024). Data: Current data for valuation. NYU Stern School of Business.
https://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datacurrent.html