

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE CONCEPCIÓN – REY BALDUINO DE BÉLGICA**

**ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD DE PRODUCCIÓN DE PELLETS EN
ASERRADEROS PEQUEÑOS**

Trabajo de Titulación para optar al Título
de Ingeniero en Mantenimiento Industrial.

Alumno:
Xavier Andrés Saldivia Madariaga

Profesor Guía:
Guillermo Felipe Larson Muños

2024

Dedicatoria

Dedico este trabajo

Especialmente a mi Madre,

A mi abuela,

A mi hermana,

Y a todos los que me apoyaron y han sido parte de este trabajo

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer profundamente a mi profesor guía Guillermo Felipe Larson Muños, quien me ha estado ayudando, ayudando e incitando a mejorar a lo largo de este año con mi proyecto.

También quiero agradecer a mi familia, por ayudarme a pensar y a ver las cosas de otra forma, a cambiar el ángulo del que veo las cosas, agradecer principalmente a mi madre Yesenia Madariaga quien fue la que me apoyo en todo el proceso, y me trajo hasta donde estoy, sin ella no sería quien soy ahora, a mi abuela Gladis Echeverria, la cual me cuido de muy pequeño y me enseñó muchas de las cosas básicas de este mundo, a mi hermana Darling Marin quien me tuvo que soportar en mis inquietudes y frustraciones a lo largo de su vida.

Quiero agradecer también a mi abuelo Mario Madariaga, el que en vida me recomendó esta universidad por su prestigio y buenas críticas personales, pese a que no estudió en ella conoció muchas personas egresadas de esta, y algunos miembros de la misma.

Quiero también agradecer a Angela Lopez por ayudarme con la estructura de los capítulos de este proyecto, a Dante Salazar al guiarme en secciones específicas del proyecto aunque el tuvo que iniciar un proyecto de cero siempre estuvo disponible para ayudarme, a Sebastian Illanes, Cristian Monje y Jesús Barrera por apoyarme en general en el proyecto y ser más competitivo en mi vida, a mi generación por ser tan amable y divertida durante todos estos años.

A Don Luis dueño del aserradero quien me entregó su confianza y Felizmente me abrió sus puertas y estuvo dispuesto a lo largo del año para consultas y dudas respecto a su aserradero.

Agradezco también a cada docente que me formó y me permitió llegar hasta donde estoy ahora, haciendo clases, talleres certámenes e informes, cada uno de ellos con una disponibilidad y accesibilidad que no podría haber encontrado en ninguna universidad.

RESUMEN

El proyecto "Análisis de Factibilidad de Producción de Pellets en Aserraderos Pequeños" Se enfoca en la transformación de residuos generados en aserraderos, como el serrín en pellets de biocombustible, teniendo por objetivo la de fomentar la economía circular y la utilización de estufas que funcionan con este combustible en el sector de Talcahuano. Esto surge mediante la observación de prácticas inadecuadas en la gestión de residuos en los aserraderos locales, donde muchos de estos residuos son desechados a la tierra produciendo no solo una pérdida de recursos, sino que también generando una contaminación en los suelos.

Se propone transformar estos residuos en biocombustibles en forma de pellets, ya que son una alternativa de calefacción más limpia y eficiente, contribuyendo a la reducción de gases de efecto invernadero. Buscando así no solo disminuir la cantidad de residuos en vertederos no regulados (lo que aumenta el riesgo de incendios) sino que también mejorar la sostenibilidad de la industria maderera. A Través de un análisis de viabilidad técnica, económica y ambiental, este trabajo evalúa la factibilidad de implementar esta producción en aserraderos pequeños.

Adicionalmente, se argumenta que la producción de pellets puede generar beneficios económicos al crear un producto comercializable, estimulando el desarrollo local y proporcionando a la comunidad de los cerros una fuente de energía limpia y asequible, eliminando prejuicios que dejó la pandemia respecto a la escasez de pellets.

ABSTRACT

The project "Feasibility Analysis of Pellet Production in Small Sawmills" focuses on the transformation of waste generated in sawmills, such as sawdust into biofuel pellets, with the objective of promoting the circular economy and the use of stoves that run on this fuel in the Talcahuano sector. This arises through the observation of inadequate practices in waste management in local sawmills, where many of these wastes are discarded to the ground producing not only a loss of resources, but also generating soil contamination.

It is proposed to transform this waste into biofuels in the form of pellets, as they are a cleaner and more efficient heating alternative, contributing to the reduction of greenhouse gases. The aim is not only to reduce the amount of waste in unregulated landfills (which increases the risk of fires) but also to improve the sustainability of the timber industry. Through a technical, economic and environmental feasibility analysis, this work evaluates the feasibility of implementing this production in small sawmills.

Additionally, it is argued that pellet production can generate economic benefits by creating a marketable product, stimulating local development and providing the hillside community with a clean and affordable source of energy, eliminating prejudices left by the pandemic regarding pellet shortages.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	9
OBJETIVOS.....	10
Objetivo general:.....	10
Objetivos específicos:.....	10
CAPÍTULO I:	
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	11
1.1. ANTECEDENTES DEL PROYECTO.....	12
1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	12
1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	13
1.4. BENEFICIOS DEL PROYECTO.....	13
CAPÍTULO II:	
MARCO TEÓRICO.....	14
¿Qué es un análisis de factibilidad?.....	15
Tipos de factibilidad.....	15
Economía Circular.....	16
¿Que es un aserradero?.....	16
Tipos de aserradero.....	17
Residuo.....	18
• ¿Qué es la gestión de residuos?.....	18
• Fases de la Gestión de Residuos.....	19
Residuos Generados por aserraderos.....	19
Pellet.....	21
Biomasa.....	21
CAPÍTULO III:	
DISEÑO Y SOLUCIÓN.....	22
1. PLanta de producción de pellets.....	23
1.1. Proceso Fabricación.....	23
2. Problemática.....	24
2.1. Limitaciones de la Producción.....	24
3. Posible Solución.....	24
3.1. Proceso de producción de pellets Ajustado.....	24
3.1.3. Proceso de Pelletizado.....	25
3.2. Selección de Equipos.....	26
CAPÍTULO IV:	
EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	29
1. Análisis de Costos.....	30
2. Inversión Inicial.....	30
2.1 Costos energía.....	30
2.3 Flujo de caja.....	31
3. Inversión Inicial Solución 2.....	31
3.1 Costos Energía Solución 2.....	32
3.3 Flujo de Caja Solución 2.....	32
CAPÍTULO V:	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	33
1. Conclusión.....	34
2. Recomendaciones.....	34
BIBLIOGRAFÍA.....	35

ÍNDICE DE FIGURAS

[Figura 1: “Modelo de economía circular” Fuente: Servicio de Investigación del Parlamento Europeo, 08 de junio de 2024.-----15](#)

[Figura 2: “Tipos de Residuos Madereros” Fuente:Propia, 08 de junio del 2024.----19](#)

[Figura 3: “Volumen de residuos madereros” Fuente: INFOR, año 2015.-----20](#)

[Figura 4: “Diagrama de Planta de Pellets” Fuente:Prodesa, 04 de agosto del 2021.-----22](#)

[Figura 5: “Diagrama de Procesos” Fuente: Propia, 01 de Octubre 2024.-----25](#)

[Figura 6: “Ejemplo de Secadora de tolva” Fuente: Shini Plastics, Septiembre 2024.-----25](#)

[Figura 7: “Ejemplo de Secadora Solar” Fuente: MADERA Y SOL, Noviembre 2024.-----26](#)

[Figura 8: “Ejemplo de Peletizadora” Fuente: Adkar, Septiembre 2024.-----26](#)

[Figura 9: “Ejemplo de Higrometro”. Fuente: Moisture Meter, año 2018.-----27](#)

[Figura 10: “Cotización sacos”. Fuente: Homs Pack, año 2018.-----29](#)

ÍNDICE DE TABLAS

[Tabla 1: "Inversión Inicial" Fuente: Elaboración Propia.-----30](#)

[Tabla 2: "Costos de Energía" Fuente: Elaboración Propia.-----30](#)

[Tabla 3: "Flujo de caja" Fuente: Elaboración Propia.-----31](#)

[Tabla 4: "Inversión Inicial Solución 2" Fuente: Elaboración Propia.-----31](#)

[Tabla 5: "Costos de Energía Solución 2" Fuente: Elaboración Propia.-----32](#)

[Tabla 6: "Costos de Energía Solución 2" Fuente: Elaboración Propia.-----32](#)

INTRODUCCIÓN

Este proyecto se inicia debido a una observación que se hizo en un aserradero local hace un tiempo, el cual simplemente tiraba el aserrín por su terreno y así no tener que ir a botarlo a un vertedero, almacenarlo o pagar para que se lo lleven. Y con la ayuda de un profesor que dio la idea del pellet se juntaron las ideas y dieron inicio a este proyecto, el cual busca disminuir los residuos de los aserraderos pequeños y medianos transformando la mayor parte de estos en pellet utilizados para alimentar estufas que funcionan con esta materia prima, la cual produce hasta un 70% menos de gases del efecto invernadero, una alternativa de calefacción viable para disminuir la contaminación producida del ser humano, la que con actividades domésticas como encender una estufa para calefaccionar una casa (Actividad la cual representa aproximadamente un 80% de contaminación por actividades domésticas) aporta en un 30% de los gases de efecto invernadero al menos en la región del Bio-Bio.

Con este proyecto se busca fomentar el uso de estufas a pellet a través de la inserción de pellet hecho de los residuos madereros de los aserraderos, disminuir el riesgo de incendio producido por el desecho de aserrín y/o partes de madera en vertederos no autorizados, y generar una economía circular en los aserraderos que aún no implementan estas tecnologías.

OBJETIVOS

Objetivo general:

- Generar una economía circular donde estos residuos se traten y se lancen al mercado en forma de pellets para estufas y evaluar su viabilidad

Objetivos específicos:

- Identificar los residuos generados por los aserraderos con el fin de evaluar la viabilidad técnica de la creación de pellet a partir de estos residuos
- Analizar las tecnologías disponibles y evaluar su accesibilidad para los aserraderos pequeños y medianos
- Realizar un análisis costo-beneficio para evaluar la rentabilidad y tiempo de recuperación de la inversión, así como también explorar variedad de fuentes de financiamiento y averiguar si el estado ayudara en algún porcentaje en esta idea.
- Evaluar el impacto ambiental de la producción de pellets en comparación con la gestión tradicional de residuos madereros.
- Analizar si la maquinaria o el proceso de producción de pellets tiene algún impacto ambiental negativo y si es así proponer medidas o cuidados para estos.

CAPÍTULO I:
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. ANTECEDENTES DEL PROYECTO.

Mediante la observación y entrevista el dueño de un aserradero local se puede decir que:

- La gestión actual de desechos consiste principalmente en la venta de los residuos a dueños de corrales de animales, venta de estos como yesca para el fuego e incluso lo regala con este mismo fin a personas mas necesitadas como ancianos y personas de escasos recursos del cerro. por esto no tiene costos asociados en la gestión de estos residuos. La frecuencia de retirada de estos residuos es diaria, ya que la gente va todos los días a comprar o pedir si le pueden dar estos residuos como yesca para encender sus estufas.
- En promedio se generan 100 kg diarios de residuos madereros en la producción de leña, tablas, palos y planchas, y los residuos se clasifican en estas ramas principales:
 - a. Cortezas de árbol.
 - b. Aserrín.
 - c. Ramas.
 - d. Pedazos grandes de madera (que no alcanzan a ser astillas de leña).
- La generación de residuos varía según la estación del año, en verano se produce más al ser el momento del año en el que más se produce ya que la madera seca mas rápido lo que permite una venta rápida por lo tanto el trabajo es más seguido se seca y se trata de vender enseguida, mientras que en invierno, estas actividades se reducen un poco ya que es más complicado salir a talar árboles e impide un trabajo diario en estos.
- Los dueños de este aserradero han pensado en producir pellet, con una parte de estos residuos (aserrín) pero no lo han evaluado seriamente por el trabajo y falta de conocimientos sobre la maquinaria.

1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.

Este proyecto busca convertir el aserrín, un residuo maderero común, en pellets de combustible sostenibles. Una iniciativa que no solo genera un producto útil, sino que también promueve la economía circular. Representa una oportunidad para valorizar residuos, generar un producto sostenible y ayudar a solucionar el problema del pellet en la región que si bien actualmente está más controlado, para el año 2025 entran en vigencia prohibiciones totales de las estufas a leña en comunas de la sexta región, obligando el uso de otros medios de calefacción como las estufas a pellet y por ende también el uso de su combustible.

1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.

La motivación que guía este proyecto es principalmente generar una economía circular con salida al mercado en los aserraderos pequeños y medianos, mediante el reciclaje de sus residuos como trozos pequeños de madera y aserrín, mejorando un poco la imagen de la industria maderera al demostrar compromiso con la sostenibilidad y responsabilidad ambiental. Esto también podría impulsar el desarrollo económico local estimulando el crecimiento de las empresas relacionadas. También se reduciría la cantidad de residuos enviados a vertederos no regularizados que es algo común sobre todo para los negocios pequeños en lugares apartados, lo cual pone en peligro la integridad de esos puntos aumentando la probabilidad de incendio.

1.4. BENEFICIOS DEL PROYECTO.

Beneficios

A) Ambientales: El pellet es una alternativa renovable baja en emisiones comparado a los combustibles fósiles contribuyendo a la mitigación de los gases efecto invernadero, reduciendo la emisión de material particulado y gases nocivos.

B) Económicos: Permite valorizar un residuo sin valor en un producto comercializable transformándolo en una fuente de ingresos. También estimula el desarrollo local al fomentar la inversión y la adquisición de tecnologías.

C) Sociales: Proporciona una fuente de energía limpia y asequible a comunidades de la zona y reduce la dependencia de combustibles fósiles exteriores mejorando la autonomía regional.

CAPÍTULO II:
MARCO TEÓRICO

¿Qué es un análisis de factibilidad?

Un análisis de factibilidad o estudio de factibilidad es una herramienta clave utilizada por empresas antes de embarcarse en nuevos proyectos o negocios. Este estudio permite saber si se pueden o no hacer estas inversiones o movimientos, si podría resultar éxitos, cuáles serían las condiciones ideales para realizarlo y si es posible superar las dificultades con el mínimo riesgo posible.

Tipos de factibilidad

1) Factibilidad Operativa

Está relacionada con los responsables de realizar el proyecto y se analiza si éste posee las debidas competencias para ser capaz de desarrollarlo y llevarlo a cabo. Por lo tanto esta depende totalmente de los recursos humanos que la componen, dado que son los responsables de cumplir los objetivos propuestos. En esta etapa se debe evaluar también si los trabajadores de la empresa o industria se verán afectados y de qué forma, evaluar si provoca miedo al cambio, sobre todo si es un cambio o mejora muy drástica, y por último analizar si el personal se puede adaptar a los cambios.

2) Factibilidad Técnica

Este aspecto evalúa si las bases técnicas que posee la empresa pueden responder de forma positiva y eficiente en el proyecto o negocio planificado, y claramente si el equipo que trabajara en él posee el conocimiento necesario para utilizar los equipos o software necesarios.

3) Factibilidad Económica

Se debe realizar un análisis del costo beneficio que traerá el negocio/proyecto y ponderar ambos aspectos. Si la evaluación muestra que los costos superan los beneficios sería una buena causa para replantearse si seguir desarrollando el proyecto. Por otro lado, si el beneficio es mayor al costo, avanzar será menos arriesgado, pero no significa que no habrá problemas o riesgos más adelante.

4) Factibilidad Comercial

En este punto se determina si existe un número adecuado de potenciales consumidores, ya que deben estar dispuestos a utilizar los productos que este negocio ofrece al mercado.

5) Factibilidad Política y Legal

Asegurarse que el tipo de negocio/proyecto no incumpla o atente con alguna ley o norma municipal, estatal o mundial. De lo contrario no puede implementarse debido a estar en contra de las disposiciones legales de la

Zona o mercado al que se quiere entrar, lo que causaría que el plan no fuera viable.

6) **Factibilidad de tiempo**

Esta permite conocer si el tiempo planificado para llevar a cabo el proyecto coincide con el tiempo real que se necesita para poderlo implementar.

Economía Circular.

Se puede definir como economía circular como un modelo económico el cual tiene como objetivo la el uso eficiente de los recursos y la reducción de residuos, promoviendo la reutilización, recuperación, reciclaje, y valorización de residuos pudiendo sacar beneficio de ellos integrándose nuevamente a los procesos como materia prima, o incluso creando un nuevo producto a través de este.

En este modelo se busca generar un ciclo continuo en el uso de los residuos. lo cual no solo ayuda a reducir la presión en los recursos naturales sino que como se mencionó antes puede generar oportunidades económicas generando empleo o innovando en tecnologías sostenibles.



Figura 1: "Modelo de economía circular" Fuente: Servicio de Investigación del Parlamento Europeo, 08 de junio de 2024.

¿Que es un aserradero?

Se considera un tipo de industria que transforma la madera, es decir, se encargan de convertir los troncos de los árboles en objetos más manejables como tablas, barras vigas, etc. Estos proveen productos semiacabados los cuales luego son

enviados a una industria de segunda transformación como carpinterías, constructoras etc. En Chile la madera más común de ver en los aserraderos es la de pino y eucalipto debido a que para la velocidad a la que crece tiene buenas propiedades en cuanto a resistencia.

Tipos de aserradero

1) Aserraderos móviles

Los aserraderos móviles corresponden a unidades básicas, generalmente compuestas por un banco con una sierra de tipo circular o una huincha horizontal, que cumple la función de aserrar y partir la troza. En algunos casos se presenta un banco auxiliar partidor. La fuerza motriz está dada por un motor estacionario, típicamente de tipo diésel.

La característica principal de este tipo de aserraderos es que su estructura puede ser transportada para abastecerse de madera. Según el tipo de sierra que poseen, son denominados por Instituto forestal como:

- Aserradero móvil tradicional: utiliza una sierra circular simple, generalmente de diente postizo, lo que confiere un ancho de corte de ¼ de pulgada, generando gran cantidad de residuos madereros .
- Aserradero móvil portátil: Corresponde a una generación de aserraderos que surgió en el mercado en la década de 1990 y que utiliza una sierra huincha vertical de un milímetro de espesor, que permite obtener cortes delgados, con un mejor rendimiento en madera aserrada que el tipo anterior.

2) Aserraderos permanentes

Corresponden a unidades más complejas, que pueden incluir desde el procesamiento de la madera aserrada, pasando por el secado , hasta la elaboración para obtener productos de mayor valor agregado que la madera aserrada propiamente tal. Se pueden identificar tres tipos de aserraderos permanentes

- Aserradero tradicional: Produce solo madera aserrada, verde o seca , en diferentes dimensiones.
- Aserradero con elaboración: Parte o toda la madera aserrada producida es dimensionada y cepillada en al menos una de sus cuatro caras. Puede producir también productos tales como tablas de piso o cielo, o madera machihembrada.

- **Aserradero con remanufactura:** En este tipo de aserradero se transforma toda o parte de la producción de madera aserrada a productos finales más elaborados, tales como molduras o tableros alistonados con finger-joint (juntas o dientes en la madera que permite su unión mediante sacados), lo que además exige una clasificación de calidad más estricta.

Residuo

Se define como residuo como un material que pierde su utilidad tras haber cumplido su misión, en el ámbito de la ingeniería un residuo puede definirse como el producto inevitable de un proceso productivo el cual no tiene valor o utilidad alguna en el proceso original.

- **¿Qué es la gestión de residuos?**

La gestión de residuos es un conjunto de actividades necesarias para el tratamiento de desechos, tanto para su eliminación como su reaprovechamiento. Esta ha tomado una gran importancia por motivos ecológicos, económicos y legales, ya que antes la única gestión que había en Chile para todos los residuos era apartarlos de lugares urbanos y proceder a la incineración como método de destrucción, y eso era hacerse cargo de los residuos, porque en algunos casos solo los desechaban donde nadie los viera y se daban por satisfechos. Esto se ha mejorado mediante leyes como:

- *"Ley de 1994. Esta ley tiene por objeto darle un contenido concreto y un desarrollo jurídico adecuado a la garantía constitucional que asegura a todas las personas el derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación. 09 de Marzo de 1994."* Esta fue la pionera en establecer la participación ciudadana a la hora de definir políticas públicas y hacer gestión ambiental
- *"Ley 21223 de 2018. Modifica el código penal y tipifica como falta el ensuciar, arrojar o abandonar basura, materiales o desechos de cualquier tipo en playas, riberas de ríos o de lagos, parques nacionales, reservas nacionales o otras áreas de conservación de la biodiversidad declaradas bajo protección oficial. 10 de Diciembre 2018."* Una ley que aclara confusiones y vacíos legales para los desechos en general pero que se enfoca más en la protección de patrimonio y zonas protegidas para su preservación
- *"Ley 20920 de 2016. Establece marco para la gestión de residuos, responsabilidad extendida del productor y fomento al reciclaje."* La ley REP. busca incorporar la valorización de residuos y la responsabilidad de parte de los que generan estos, con una frase que se incluye en el resumen hecho por la misma BCN *"El que Contamina Paga"*.

- **Fases de la Gestión de Residuos**

1) Recolección en el punto de generación

Se debería implementar una clasificación de residuos sean estos orgánicos, inorgánicos, reciclables, peligrosos, etc. desde el lugar que se generan. Una forma de lograr esto es teniendo varios tipos de basurero, algo que algunas empresas ya hacen. En el caso de la población un buen método para ayudar a la separación de residuos está en la educación y propaganda de métodos de reciclaje y separación de residuos, ya que algunos tienen intención de hacerlo pero no saben como empezar e inmediatamente se rinden.

2) Transporte a Centros de procesamiento

Se debe identificar y ubicar puntos de reciclaje donde le den un valor a estos residuos. Los más conocidos son los del vidrio, plástico, cartón y latas, pero no son los únicos también hay quienes le dan valor al aceite usado, tetrapack, etc. Claramente se debe llegar a un acuerdo en algunos casos hasta beneficioso para los que generan estos como puede ser retirarlos de forma gratuita o incluso comprándoles estos productos.

3) Procesamiento en Plantas de Valoración

Estas son las responsables de utilizar estos "recursos" y darles una segunda vida útil de diversas formas como productos, reduciendo la extracción de materias primas.

4) Disposición final de los residuos que no han podido ser reaprovechados de ninguna manera

Cuando estos residuos no pueden ser reutilizados de ninguna manera se debe encontrar una forma de reducir su impacto al mínimo, como tratamientos de residuos separándolo en sus partes más básicas o incluso incinerando este y con la ayuda de filtros disminuir su impacto o con otro tipo de técnicas de control de emisiones, otras opciones viables son la neutralización química o solidificación.

Residuos Generados por aserraderos

Como resultado del proceso de aserrío, y descontada la producción de tapas y la producción de astillas a partir de lampazos y despuntes, se obtiene un volumen de residuos madereros conformados por la corteza, lampazos y aserrín. Estos residuos madereros se denominan primarios dado que son producto de la primera transformación de la troza. A este volumen se suman los residuos obtenidos del reprocesamiento de la madera aserrada que realizan diversos aserraderos, y que están constituidos por despuntes, viruta y aserrín, los que pueden denominarse residuos de elaboración o residuos secundarios.

Tipos de residuos

- Corteza: Capa externa de la madera rolliza. Se obtiene en aserraderos que poseen descortezadores, quedando la corteza como residuo maderero. En los aserraderos que no disponen de esta tecnología, la corteza forma parte de los lampazos.
- Lampazos: Se caracterizan por tener una cara limpia. En aserraderos que poseen descortezador y astillador los lampazos son reducidos a astillas sin corteza, las que se comercializan a la industria de tableros, pulpa u otras.
- Viruta: Cinta delgada de espesor variable en dirección de la fibra generada por el cepillado de piezas de madera; producidas en aserraderos con elaboración y remanufacturas.
- Despunte: Piezas de tamaño variable provenientes de secciones terminales de las tablas, que resultan del proceso de dimensionado en largo de la madera. En la mayor parte de los aserraderos la producción de despuntes es muy baja y más bien corresponde al margen de tolerancia en longitud con el que vienen los trozos , lo que en general es difícil de cuantificar porque las empresas registran el volumen de trozas efectivo .

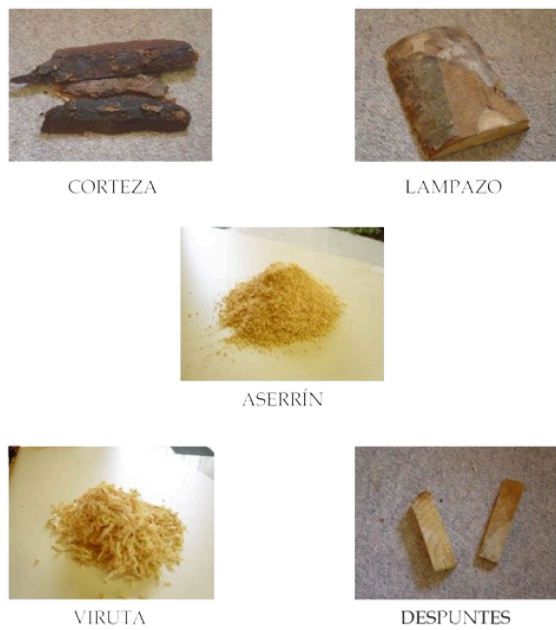


Figura 2: "Tipos de Residuos Madereros" Fuente:Propia, 08 de junio del 2024 .

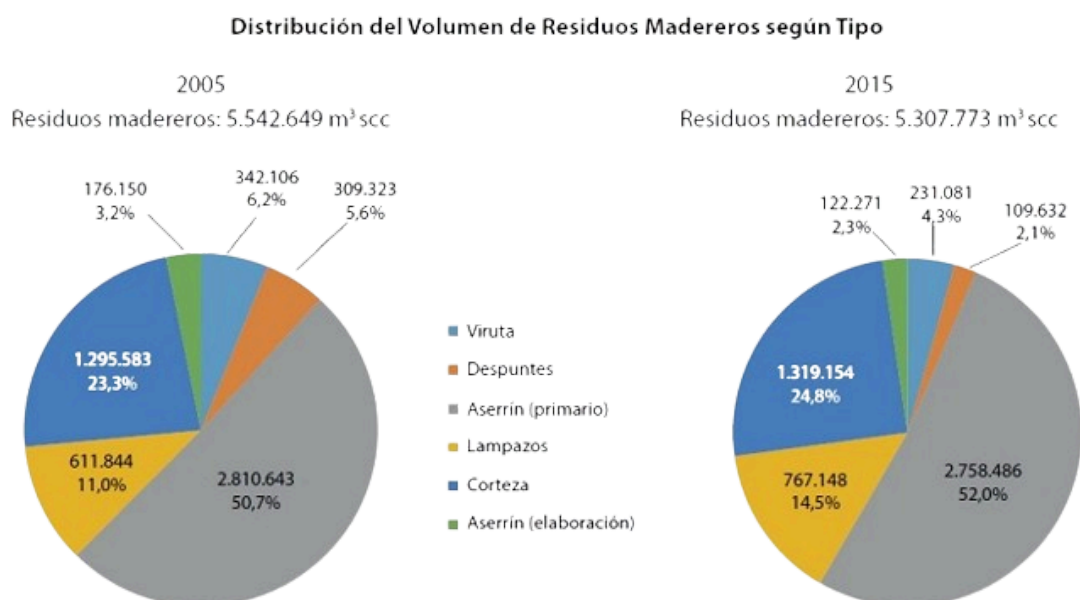


Figura 3: "Volumen de residuos madereros" Fuente: INFOR, año 2015.

Pellet

El pellet es una pequeña pieza cilíndrica que puede estar hecha de diversos materiales aunque principalmente está hecho de biomasa. En el caso del pellet hecho de biomasa es considerado como un combustible a base de residuos forestales, Utilizado comúnmente como fuente de energía renovable para calefacción como estufas y calderas, se consideran una alternativa sostenible y respetuosa con el medio ambiente, ya que su producción y uso genera hasta un 90% menos gases de efecto invernadero comparado con una estufa convencional que utiliza como combustible astillas de madera.

Biomasa

Es un tipo de materia orgánica la cual es utilizada como combustible para producir energía. Esta abarca muchos tipos de elementos biodegradables. Se genera a partir de procesos biológicos inducidos o naturales, estos pueden dividirse como recursos agrícolas y forestales, aunque lodos de depuradora y aguas residuales también pueden ser considerados como biomasa, incluso los desechos urbanos y otros derivados de las industrias pueden ser considerados como biomasa.

CAPÍTULO III:
DISEÑO Y SOLUCIÓN

1. Planta de producción de pellets

1.1. Proceso Fabricación

El proceso para producir pellets a nivel industrial inicia con el descortezado de los troncos y ramas a utilizar, esto con el fin de evitar producir pellets con contenido de cenizas y que esta corteza produzca cambios en la calidad de combustión del pellet. Este material no se desecha, sino que es usado para secar los troncos recientemente descortezados, aprovechando así todo el material sin desperdiciar nada. Luego del proceso de secado del tronco se lleva a una estación de reducción de tamaño en la cual se vuelve astilla y luego pasa por un segundo proceso de reducción en el cual se deja un material más parecido al aserrín. luego pasa por la estación de secado la cual mediante un secador rotativo (el cual también utiliza como fuente de combustible la corteza retirada de los troncos con anterioridad) y se controla la humedad del producto dejándolo en un promedio de 10% a 17% que son los ideales para el pellet. finalizado este proceso el pellet es llevado a una máquina con pequeños orificios que darán la conocida forma circular del pellet, para que el aserrín logre transformarse en un pellet debe pasar por un proceso en el cual se le aplica mucha presión contra esas perforaciones lo que causa que se eleve su temperatura y el aserrin suelte un biopolímero llamado lignina, el cual cumplira con la funcion de mantener la forma del pellet y dará un brillo a este. El producto final será enviado a grandes silos para su venta a granel o envasado en ensacadoras para su venta y traslado dentro del país o al extranjero según la forma de trabajo de la planta

1.1.2. Diagrama de Planta Industrial de Pellets



Figura 4: "Diagrama de Planta de Pellets" Fuente:Prodesa, 04 de agosto del 2021.

2. Problemática

El principal problema que tiene este programa es que las necesidades específicas del aserradero en el que se quiere aplicar son muy distintas en comparación a un proceso industrial a gran escala.

2.1. Limitaciones de la Producción

2.1.1 Escala

La escala de producción del aserradero que quiere implementar la producción de pellets es muchísimo menor. La capacidad de procesamiento de materia prima de los equipos utilizados en una planta peletizadora normal es capaz de procesar entre 3500 y 7000 kilos de material procesado dependiendo de su capacidad de operación y si funciona con turnos rotativos, mientras que en el aserradero local se producen entre 100 y 200 kilos de materia prima para la producción de pellets dependiendo de la temporada.

2.1.2. Disponibilidad de recursos

Adicionalmente este aserradero no cuenta con el espacio físico para la instalación de una planta de este tipo debido a los grandes tamaños que se requieren para almacenar la materia prima, los silos del material final y los grandes equipos requeridos. Tampoco cuenta con el capital inicial necesario para comenzar con este proyecto e iniciar con un proyecto tan grande conlleva un gran riesgo financiero.

Adicional a esto se necesitaría una mayor capacidad de recurso humano el cual deberá estar capacitado para la operación de equipos y realizar un mantenimiento más complejo lo que significa nuevos costos laborales

3. Posible Solución

Se ha adaptado el proceso de producción de pellets a uno más pequeño y con equipos que se adapten a la capacidad de producción de materia prima del aserradero. Este ajuste permite también una mayor flexibilidad en la operación, facilitando el manejo de diferentes volúmenes según la materia prima disponible. Esto también logra reducir el consumo energético tanto eléctrico como a base de combustibles fósiles lo cual contribuye a una producción más sostenible.

3.1. Proceso de producción de pellets Ajustado

3.1.1. Proceso de Cortado y Chipeado

El material para la fabricación del pellet en este caso puede variar, al permitir que no solo el aserrín sea la materia prima, ramas, paja, ETC. Pero para poder integrarlos en la "mezcla" estos deben pasar por un proceso de chipeado, el cual consiste en la reducción de su tamaño, dejándolo muy similar al aserrín, lo ideal sería que el aserrín también pasará por esta chipeadora así quedarían con un tamaño más uniforme y se evitan problemas de mezclado y homogeneización de la mezcla.

3.1.2 Proceso de secado

Luego de la reducción de tamaño de los residuos que no eran aserrín, pasaremos a el proceso de secado, el aserrín debe tener entre un 11% y 14% por lo que se recomienda utilizar molinos de secado rotatorio, pero una alternativa a estos debido a su alto costo y estar sobrecapacitado para un trabajo más pequeño podrían ser las secadoras de tolva las cuales por medio de aire caliente permite controlar la humedad del material en su interior, siendo en este caso el aserrín. Es recomendable que la temperatura del aserrín se mantenga entre 80°C y 120°C, para evitar con temperaturas más bajas la proliferación de hongos y evitar dañar la materia prima con temperaturas más altas. También es recomendado tener un higrómetro para aserrín que permita evaluar de vez en cuando el estado en el que sale este aserrín del secador.

3.1.3. Proceso de Pelletizado

Cuando el Pellet tenga la humedad deseada procederemos al proceso de peletizado, el cual consiste en alimentar una peletizadora con el material secado el cual con ayuda del calor generado por la fricción provocan una gelatinización del almidón natural que contiene el aserrín, funcionando como un pegamento para mantenerlo unido el cual debido a la presión al interior de la peletizadora, pasará por los orificios de salida de la matriz, dándole la forma cilíndrica en un tamaño uniforme.

3.1.4. Análisis y pruebas

Se recomienda hacer pasar los primeros pellet por un proceso de pruebas y análisis, en el que primeramente se analizará la forma final y si es capaz de mantenerla. Luego de pasar este análisis deberá pasar por pruebas de combustión ya que el atractivo principal es que puede llegar a tener una eficiencia del 95% al momento de quemarlo.

Algunas de estas pruebas pueden ser:

- Pruebas visuales y táctiles que incluyen verificación de la forma, tamaño uniforme y que esta esté sin grietas ni deformaciones.
- Pruebas de combustión que incluyen el encendido de estos ya que deben encender fácil y mantener una combustión estable, observación de la cantidad de cenizas y el color de estas ya que deberían ser color gris claro y una cantidad moderada de estas indicando una buena combustión.

3.1.5. Envasado y almacenamiento

Luego de superar las pruebas y análisis de forma satisfactoria se procederá al envasado de los pellets, el que se hará a mano con una báscula y una selladora e incluso podría venderse a granel, y que debido a la localización algunos de estos aserraderos las personas podrían comprar el pellet según lo que necesiten. Y la parte más importante de todo esto es el almacenamiento, ya que deben estar en un

lugar seco y fresco para evitar que estos absorban la humedad y todo este proceso se tenga que hacer de nuevo.

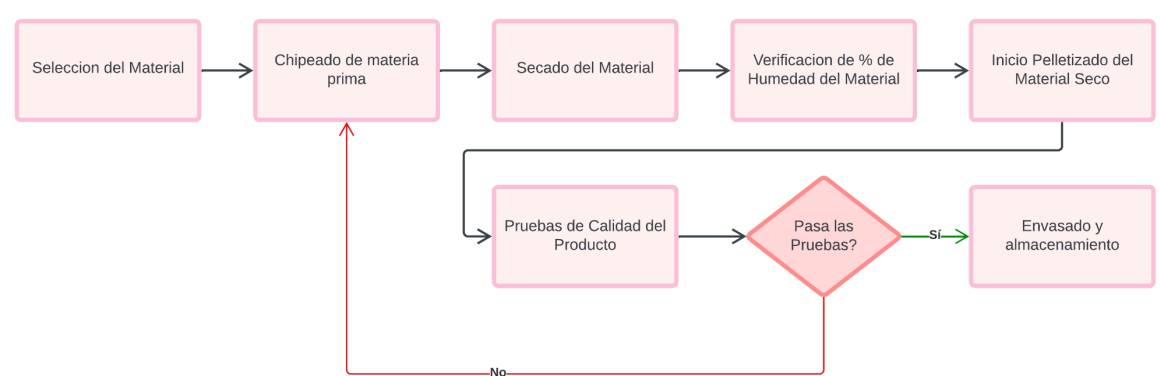


Figura 5: "Diagrama de Procesos" Fuente: Propia, 01 de Octubre 2024.

3.2. Selección de Equipos

3.2.1 Chipeadora/Trituradora

Para la selección de una chipeadora que se adapte a la cantidad de residuos generados por día, en este caso al ser una cantidad menor en comparación de aserraderos de mayor envergadura (Produciendo aproximadamente 100 kg diarios, que podrían aumentar a un aproximado de 150 kg si se incluyen las ramas de los árboles talados) se ha pensado en 2 equipos, una trituradora de martillo/molino de martillo y una trituradora de disco o cuchillas. Entre estos 2 equipos se ha observado que la trituradora de cuchillas es mucho más asequible en costos y lugar de compra o importación.

3.2.2.1 Secadora de aserrín

Como se mencionó con anterioridad lo mejor es utilizar un molino secador rotatorio pero para este caso más pequeño se buscaron diversas alternativas como lo son la secadora de tolva, utilizada en procesos de secado de plástico, esta cuneta con control de temperatura y se puede ingresar mediante un panel el nivel de humedad que se quiere en el material.



Figura 6: "Ejemplo de Secadora de tolva" Fuente: Shini Plastics, Septiembre 2024.

3.2.2.2 Secadora de aserrín (Opcion 2)

Luego de una búsqueda se logra observar que la secadora de tolva está pensada para ser utilizada con plásticos y no se han encontrado casos en los que se haya utilizado este equipo con materiales orgánicos, por lo tanto se ha pensado en una solución un poco más simple, la cual consiste en la utilización de secadoras de alimentos solares, la cual para este caso puede ser adaptada con un sistema de medición de humedad para así saber de forma instantánea si está listo para ser usado o no. Aunque este tiene un inconveniente en relacionado al mal tiempo este contenedor puede ser movido hacia el interior del inmueble lugar que en épocas de frío e invierno, ya que este cuenta con calefacción por estufas convencionales. Siendo este su funcionamiento en Invierno.



Figura 7: "Ejemplo de Secadora Solar" Fuente: MADERA Y SOL, Noviembre 2024.

3.2.3 Peletizadora

La maquinaria más importante en este proceso es la peletizadora, esta máquina encargada de prensar el pellet y darle su forma tan cilíndrica tan característica, esta máquina también puede ser utilizada para hacer alimentos de animales , ya que estas tienen una capacidad de producción de pellets muy alta, si no se está utilizando para su uso con madera, este podría ser un uso secundario.



Figura 8: "Ejemplo de Peletizadora" Fuente: Adkar, Septiembre 2024.

3.2.4 Selladora de Sacos

Para el último proceso dentro de la fabricación del pellet tenemos el envasado y sellado, realizado de forma manual por el dueño Con sacos de 600 mm x 700 mm en los cuales cabe aproximadamente 15 kg de pellet para venta en el mercado.

3.2.5 Herramientas o dispositivos

- Higrómetro: este dispositivo es un medidor de humedad que puede ayudar a saber el nivel de humedad del aserrín para saber si se necesita más tiempo de secado o si está muy seco para mezclarlo con aserrín sin tratar y recuperar humedad.



Figura 9: "Ejemplo de Higrometro". Fuente: Moisture Meter, año 2018.

CAPÍTULO IV:
EVALUACIÓN ECONÓMICA

1. **Análisis de Costos**

Para este caso se deberán de considerar algunas cosas las cuales tendrán un impacto en el la inversión inicial y en el tiempo que se recuperara esta. Factores como el equipo a utilizar y promedio de ventas semanal serán consideradas para realizar distintas evaluaciones de costos.

2. **Inversión Inicial**

Para empezar se calculará el valor de la inversión inicial considerando el costo de los equipos cotizados en tiendas y importadoras

Equipo	Costo
Selladora de pedestal	\$ 150.000
Pelletizadora	\$ 1.300.000
Chipeadora Pequeña	\$ 200.000
Secadora de Tolva	\$ 600.000
Total	\$ 2.480.000

Tabla 1: "Inversión Inicial" Fuente: Elaboración Propia

2.1 **Costos energía**

También en el apartado de costos se debe considerar el costo de la energía que consumen estos equipos al mes calculado como:

$$\text{Consumo de Energía por Día en KW} = \text{Horas usado al día} * \text{Consumo de Energía por hora}$$

$$\text{Costo de Energía por Mes} = \text{Consumo e Energía por Día en KW} * \$192 * 31 \text{ Días}$$

Equipo	Costo	Horas usado al día	Consumo de Energía por hora	Consumo e Energía por Día en KW	Costo de Energía por Mes
Selladora de pedestal	\$ 150.000	1	220	0,22	\$ 1.309
Pelletizadora	\$ 1.300.000	1,5	80	0,12	\$ 714
Chipeadora Pequeña	\$ 200.000	2	230	0,46	\$ 2.738
Secadora de Tolva	\$ 600.000	3	220	0,66	\$ 3.928
Total	\$ 2.480.000				\$ 8.690

Tabla 2: "Costos de Energía" Fuente: Elaboración Propia

Un costo a considerar cotizado es el de los sacos

PRODUCTO	PRECIO	CANTIDAD	SUBTOTAL	TOTALES DEL CARRITO
	~~\$470,00~~ \$188,00	- 300 +	\$56.400,00	Subtotal \$56.400,00
				Impuesto \$10.716,00
				Total \$67.116,00

Figura 10: "Cotización sacos". Fuente: Homs Pack, año 2018

Al dividir los 300 sacos entre los \$67.116 da un valor de \$224 por saco

2.3 Flujo de caja

Para el flujo de caja se consideró un iva del 19% y como si se vendiera una media de 10 sacos por semana a lo largo del año, en ese caso de lograría empezar la inversión al segundo año, esto debido a que algunos clientes de su aserradero le han dicho que les acomodaria que hubiera un distribuidor de pellets en el los cerros de thno. Esto no considera que al hacerse más conocido aumenten los pedidos de pellet así que podría irle mejor y recuperar antes la inversión.

Flujo de caja					
	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4
Deuda de Inversion		\$ -1.704.872	\$ -929.744	\$ -154.616	\$ -
Valor Adquisicion equipo	\$ -2.480.000				
Recursos basicos	\$ -805.392	\$ -805.392	\$ -805.392	\$ -805.392	\$ -805.392
Costo de la Energía	\$ -104.280	\$ -104.280	\$ -104.280	\$ -104.280	\$ -104.280
Precio de venta de 10 sacos a 4000 por semana en un año	\$ 2.080.000	\$ 2.080.000	\$ 2.080.000	\$ 2.080.000	\$ 2.080.000
IVA 19%	\$ -395.200	\$ -395.200	\$ -395.200	\$ -395.200	\$ -395.200
Sumatoria	\$ -1.704.872	\$ -929.744	\$ -154.616	\$ 620.512	\$ 775.128

Tabla 3: "Flujo de caja" Fuente: Elaboración Propia

3. Inversión Inicial Solución 2

Como se mencionó anteriormente, se presentaron 2 ideas de solución para este proyecto, esta en vez de una secadora de tolva se le considerara una secadora solar, la cual tiene un coste reducido pero presenta algunas complicaciones a la hora de enfrentarse a un mal clima.

Equipo	Costo
Selladora de pedestal	\$ 150.000
Pelletizadora	\$ 1.300.000
Chipeadora Pequeña	\$ 200.000
Secadora Solar	\$ 350.000
Total	\$ 2.480.000

Tabla 4: "Inversión Inicial Solución 2" Fuente: Elaboración Propia

3.1 Costos Energía Solución 2

Como se dijo con anterioridad los costos de energía variarán un poco debido a que se consideró una secadora de un funcionamiento distinto, en este caso una secadora solar.

Equipo	Costo	Horas usado al día	Consumo de Energía por hora	Consumo e Energía por Día en KW	Costo de Energía por Mes
Selladora de pedestal	\$ 150.000	1	220	0,22	1309,44
Pelletizadora	\$ 1.300.000	1,5	80	0,12	714,24
Chipeadora Pequeña	\$ 200.000	2	230	0,46	2737,92
Secadora Solar	\$ 350.000	N/A	N/A	N/A	N/A
Total	\$ 2.000.000				4761,6

Tabla 5: "Costos de Energía Solución 2" Fuente: Elaboración Propia

3.3 Flujo de Caja Solución 2

Siguiendo la misma lógica que en la primera solución se pensó en que la venta semanal de sacos de pellets sea de 10 a un precio de 4000 cada uno sin considerar que vaya ganando clientes y este número aumente.x

Flujo de caja Solucion 2					
	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	
Deuda De inversion		\$ -1.107.731	\$ -285.462	\$ -	\$ -
Valor Adquisicion equipo	\$ -1.930.000				
Recursos basicos	\$ -805.392	\$ -805.392	\$ -805.392	\$ -805.392	\$ -805.392
Costo de la Energía	\$ -57.139	\$ -57.139	\$ -57.139	\$ -57.139	\$ -57.139
Precio de venta de 10 sacos a 4000 por semana en un año	\$ 2.080.000	\$ 2.080.000	\$ 2.080.000	\$ 2.080.000	\$ 2.080.000
IVA 19%	\$ -395.200	\$ -395.200	\$ -395.200	\$ -395.200	\$ -395.200
Sumatoria	\$ -1.107.731	\$ -285.462	\$ 536.806	\$ 822.269	\$ 822.269

Tabla 6: "Costos de Energía Solución 2" Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO V:
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Conclusión

Cual sea la opción que se elija queda demostrado que mediante la adaptación de un proceso a una escala mucho mayor, se puede recrear a una menor escala con una diferencia de toneladas de producción y materia prima. y aunque no son ganancias millonarias, estos planes están considerados con una venta que aunque es estable, lo que hace que sea poco confiable, por lo que aunque posiblemente en un inicio la venta de este biocombustible sea lenta, no se considera que pueda aumentar que es lo más probable debido al sector alejado en el que está (Cerros de Talcahuano) lugar donde se le ha preguntado al aserradero si dispone o si piensa hacer pellets en algún momento por lo que si se ejecuta correctamente el plan y junto a ello se busca la mejor calidad posible del pellet podría tener una gran cantidad de compradores fieles en los cerros.

2. Recomendaciones

1. Se recomienda mantener los equipos mediante inspecciones visuales y limpieza de los equipos después de utilizarlos.
2. Se recomienda leer los manuales de los equipos y realizar las mantenciones de cada uno como indique, como cambios de aceite, limpieza, etc.
3. En caso de utilizar la opción con una secadora de tolva investigar su funcionamiento correctamente.
4. En caso de utilizar la solución 2 recordar que pueden haber problemas con el clima de la zona, y si se quiere aplicar en un lugar distinto los costes cambiaran ya que en este caso se cuenta con bodega para almacenaje ya creada y estufas constantemente encendidas lo cual permite a la secadora solar seguir funcionando en interiores.

BIBLIOGRAFÍA

- Subproductos Madereros De la Industria del Aserrío 2023-Instituto Forestal-
- <https://www.appa.es/appa-biomasa/que-es-la-biomasa/>
- <https://wef.infor.cl/index.php/destacados/industria-primaria/el-54-3-de-todo-el-residuo-maderero-generado-por-la-industria-del-aserrio-es-aserrin>
- <https://economipedia.com/definiciones/estudio-de-factibilidad.html>
- <https://testamarketing.com/blog/articulos/que-es-el-analisis-de-factibilidad>
- <https://carbonverde.es/biomasa/fabricacion-pellets/#:~:text=Comienza%20con%20el%20uso%20de,mediante%20molinos%20y%20alta%20presi%C3%B3n.>
- <https://basoa.org/produccion-de-pellets-a-pequena-escala/>
- <https://prodesa.net/plantas-de-pellets/?l>