



Universidad del Bío-Bío
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería en Maderas
Escuela Ingeniería Civil Química



PROPUESTA DE GESTIÓN DE RESIDUOS PARA LA EMPRESA MR MUEBLES

Informe de Habilitación Profesional presentado en conformidad a los requisitos
para obtener el título de Ingeniero Civil Químico

FERNANDA GABRIELA LUCERO VEGA

Profesor Tutor: Francisco Vergara

Concepción, (1 de Septiembre 2021)

RESUMEN

El presente estudio propone y aplica un método de evaluación técnico-económica para la implementación de gestión de residuos sólidos y el análisis de propuestas de mejora en la empresa MR Muebles, considerando las condiciones actuales, volúmenes de producción y retorno económico sobre sus ventas. El estudio se basó en la estimación proyectada de generación de residuos de tablero que se utilizará, correspondiente a residuos de tableros aglomerados, tableros de densidad media (MDF) y tableros contrachapados, en un periodo de 6 meses, con un horizonte de evaluación de 5 años.

El estudio técnico-económico para la implementación de las propuestas de mejora, se llevó a cabo a través de la ejecución de las siguientes actividades. En primer lugar, se determinaron las condiciones actuales que presenta la empresa MR Muebles, en relación a la implementación de las propuestas de mejora, se realizó una caracterización físico-química de residuos sólidos de piedra y tablero, con el fin de determinar las características de los residuos sólidos generados en MR. En segundo lugar, se llevó a cabo una clasificación y cuantificación de los residuos sólidos de tablero y piedra generados. La siguiente actividad fue la transformación del peso sólido de residuos de tablero MDF a toneladas, en la unidad de comercialización BDMT.

El estudio finalizó con la determinación de la factibilidad económica de las propuestas 1: trituración y comercialización de la fracción MDF, y 2: donación de todos los residuos, basada en flujo de caja, determinándose el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR) y (PAY-BACK).

Los principales resultados obtenidos pueden ser resumidos en las siguientes ideas:

- En la actualidad existen las condiciones necesarias para la implementación de esta propuesta de mejora en MR Muebles
- En la propuesta de mejora, reutilización externa, la inversión de \$2.200.000 millones se recupera en 4 años. Con un VAN \$3.272.878 Y TIR 45%. En el caso de entrega a penitenciaria la inversión de \$400.000 se recupera al primer año, al aumentar la producción de residuos sólidos a 15 toneladas, con un VAN \$6.008.895 Y TIR 300%. La implementación de la propuesta de mejora para la empresa MR muebles es económicamente factible

Finalmente, y asumiendo criterios como valor de tasa de cambio del dólar, rendimientos de producción, entre otros, la implementación de la propuesta de mejora es rentable a un plazo de evaluación de cinco años, siempre y cuando la producción de MR Muebles aumente en un futuro su tasa de producción, o bien existan alianzas con productores de residuos de tablero.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer especialmente a mis padres y hermano, quienes me brindaron su apoyo, contención y amor a lo largo de este proceso de formación profesional, así como también a lo largo de mi vida.

A cada uno de los académicos de Ingeniería Civil química de la Universidad del Bío-Bío que me han otorgado las herramientas valóricas, éticas profesionales para mi integra formación.

Agradezco también la disposición de mi profesor guía, el señor Francisco Vergara, quien guio académicamente este trabajo con gran preocupación y dedicación.

Finalmente, agradezco a cada una de las personas que a lo largo de este proceso de formación profesional me ofrecieron su ayuda, apoyo, amistad, cariño y preocupación.

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN	ii
AGRADECIMIENTOS	iv
TABLA DE CONTENIDOS	v
NOMENCLATURA	vii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. PLANTEAMIENTO SITUACIÓN PROBLEMA	3
3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 Industria del mueble	4
3.2 Tablero aglomerado (MDP), tablero de densidad media (MDF) y tablero contrachapado.....	5
3.2.1 Tablero aglomerado(MDP).....	5
3.2.2 Tablero de fibras densidad media (MDF).....	5
3.2.3 Tablero contrachapado	5
3.3 Residuos Sólidos de tablero.....	6
3.4 Valorización y/o Recuperación de residuos sólidos.....	7
3.5 Desafíos de la economía Circular.....	7
3.5 Eco diseño: Herramienta clave para la Economía circular.....	8
3.6 Situación en otros países.....	8
3.6.1 Australia.....	9
3.6.2 Alemania.....	9
3.6.3 China.....	10
3.7 Tecnologías de valorización de residuos de tableros de madera.....	10
3.7.1 Marco Normativo Residuos Sólidos en Chile.....	11
4. OBJETIVOS GENERALES Y OBJETIVOS ESPECIFICOS	13
4.1 Objetivo general.....	13
4.2 Objetivos específicos.....	13
5. METODOLOGÍA	14

5.1 Procedimiento.....	14
5.1.1 Obtención de base de datos.....	14
5.2 Cuantificación de residuos.....	14
5.3 Caracterización física de los residuos.....	16
5.3.2 Composición química de los residuos.....	17
5.5 Gestión de residuos sólidos.....	17
5.5.1. Evaluación y análisis económico: Análisis de rentabilidad usando flujo de caja, el VAN, el TIR y Payback.....	17
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	19
6.1 Resultados.....	19
6.1.2 Proceso productivo de los productos fabricados en MR muebles.	19
6.1.3 Datos de consumo de tablero.....	19
6.2 Cuantificación de los residuos.....	22
6.3 Caracterización física de los residuos.....	23
6.4 Composición química de los residuos.....	24
6.5 Gestión de residuos sólidos y propuestas de mejora.....	26
6.5.1- Clasificación y gestión de los Residuos.....	28
6.5.2 Reutilización Externa.....	29
6.5.3 Entrega a Penitenciaria.....	30
6.5.4. Evaluación y análisis económico:	31
6.5.5 Análisis de sensibilidad.....	37
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	39
8. REFERENCIAS.....	41
9. ANEXO.....	43

NOMENCLATURA	Descripción	Unidad de Medida
<i>m</i>	<i>masa residuo</i>	<i>kg</i>
<i>V</i>	<i>Volumen del contenedor</i>	<i>m³</i>
<i>ρ</i>	<i>densidad promedio del residuo</i>	$\frac{kg}{m^3}$
--	<i>Tonelada métrica seca</i>	<i>BDMT</i>

Tipo de tablero	Adhesivo
<i>Tablero Aglomerado- MDP</i>	<i>fenol formaldehido</i>
<i>Tableros de densidad media -MDF</i>	<i>Urea Formaldehido</i>
<i>Tablero contrachapado</i>	<i>Fenol formaldehido</i>

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Problemas por residuos generados en proceso de transformación.....	1
Tabla 5.1 Volumen de contenedores para cada residuo sólido.....	14
Tabla 5.1 Densidad de materiales.....	15
Tabla 5.4 Caracterización de los residuos de madera de muebles y de la madera sólida.....	16
Tabla 6.1 Consumo mensual de tableros en empresa MR Muebles.....	18
Tabla 6.2 Costos de servicio de evacuación de residuos a vertedero Copiulemu.....	19
Tabla 6.3 Cuantificación de los residuos.....	21
Tabla 6.4 Tipo de residuo generado y sus características.....	23
Tabla 6.5 Composición de residuos sólidos de madera – piedra.....	25
Tabla 6.6 Detalle de costos de inversión para la propuesta de mejora.....	27
Tabla 6.7 Detalle de costos de inversión.....	28
Tabla 6.8 Detalles de la máquina trituradora.....	29
Tabla 6.9 Detalle de costos de inversión.....	30
Tabla 6.10. Flujo de caja puro reutilización externa.....	33
Tabla 6.11 Flujo de caja con crédito reutilización externa.....	35
Tabla 6.12 Flujo de caja puro entrega a penitenciaria.....	36
Tabla 6.13 Flujo de caja con crédito entrega a penitenciaria.....	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 Producción de tableros en Europa en el año 2005 (Kloeser, 2007).....	6
Figura 3.2 Comparación entre economía lineal y economía circular (Balboa,2014)	8
Figura. 3.3 Jerarquía de residuos según la legislación europea y alemana (Nelles, 2016).....	10
Figura 6.1 Diagrama de bloques del proceso productivo general de productos fabricados en MR muebles.....	18
Figura 6.2 Residuos de tablero generados en etapa de formateado de tablero.....	19

Figura 6.3 Sector de acopio de residuos.....	21
Figura 6.4 Distribución de la cantidad de residuos sólidos generados en MR.....	22
Figura 6.5. Estructura química de la resina de fenol-formaldehido (Velázquez, 2016)	25
Figura 6.6 Propuesta de mejora para MR muebles.....	26

1. INTRODUCCIÓN

En el sector del mueble, en particular de la fabricación de muebles de cocina, se generan residuos de materia prima que proceden de los procesos de transformación de tableros de madera. Estos tienen una composición físico- química de distintos tipos de madera reconstituidas, y sustancias químicas como adhesivos y aditivos para proveer las propiedades necesarias para su uso en la industria. Entre estos el contenido de formaldehído, conocido por ser un agente tóxico y cancerígeno, hace más compleja la biodegradabilidad de los tableros para los microorganismos. (López, 2020)

En un estudio del sector del mueble y la madera, se establece que la empresa MR muebles presenta inconvenientes debido a residuos generados por la transformación de tableros MDF, contrachapado y aglomerado, como se muestra a continuación en la tabla 1. (Reyes ,2018)

Tabla 1. Problemas por residuos generados en proceso de transformación.

Área de almacenamiento	Se incrementa el espacio de bodegaje por acumulación de residuos
Impacto ambiental	Generación de residuos de materia prima, sus efectos en la naturaleza, calentamiento global, agotamiento de la capa de ozono, o la eutrofización
Afectación económica	Nula rentabilidad del residuo sólido por desconocimiento de tecnologías y prácticas como el reciclaje para generación de nuevos productos
Sanciones ambientales	A las cuales está expuesta la empresa por normatividad y legislación ambiental.
Afectación social y salud publica	Debido a la generación de plagas, enfermedades y escombros para vecinos y trabajadores.

<p>Perdida de recurso energético</p>	<p>Invertido en el proceso de generación de tablero y costo medio ambiental por recursos naturales invertidos en el proceso</p>
--------------------------------------	---

Debido a esta problemática, la toma de acciones que produzcan un cambio en cuanto a una buena gestión de residuos, promoviendo una minimización en cuanto a generación, una correcta segregación y por lo tanto una toma de conciencia en cuanto a la utilidad, que transformen a un residuo en un posible recurso, y, por otro lado, una potenciación de tecnologías de tratamiento cada vez menos dañinas y que sean viables. (Gudewort, 2016)

En el año 2010, Chile hace ingreso a la OCDE, lo que refuerza aún más su compromiso ambiental, en conjunto con otros tratados de índole ambiental, para alcanzar el título de país desarrollado. Es por esto que en cuanto al manejo de residuos, se destaca dentro de los objetivos y metas de desarrollo sostenible, el objetivo 11: lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles, donde Chile, representado por el Ministerio del Medio Ambiente, ha puesto sus esfuerzos en una política ambiental enfocada en la creación de programas y normas que potencien la minimización de los residuos y la aseguración del cumplimiento de medidas de seguridad en cuanto al tratamiento y transporte de estos.

El propósito de este proyecto es analizar las tecnologías de transformación de los residuos de tableros aglomerados, tableros de densidad media (MDF) y tableros contrachapado que existen en el mundo, igualmente proponer y evaluar alternativas de manejo de estos para beneficiar a la empresa MR muebles y a la población en general, que se ven afectados por los impactos ambientales de los residuos sólidos que se generan actualmente.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La empresa MR Muebles produce y comercializa aproximadamente 70 millones de pesos al año. En el proceso productivo se genera residuos sólidos de tableros en grandes cantidades, la posterior evacuación de estos residuos implica costos. Actualmente, no existe un manejo adecuado de los residuos sólidos en el sector, más allá de su evacuación a vertederos. Por lo que, la nula gestión de estos residuos genera una pobre imagen de la empresa en la comunidad, y aumentan los costos variables de producción.

Además, otras de las problemáticas evidenciadas son:

- No contar con zonas de acopio para segregación de residuos
- No llevar trazabilidad ni caracterización de residuos
- No involucrar a los subcontratos en temas de gestión de residuos

Es así como la empresa MR Muebles tiene la necesidad de realizar planes estratégicos para la valorización y administración de los residuos sólidos generados, de forma que no supongan un costo añadido dentro del proceso productivo y se transformen en la posibilidad de conseguir un subproducto que suponga un beneficio para la empresa.

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1 Industria del mueble

El comercio mundial de muebles ha crecido rápidamente en las últimas décadas, gracias a las innovaciones en el embalaje y el transporte, como los muebles listos para montar y desmontar, y a la reducción de las barreras comerciales en todo el mundo. La mayor apertura de los mercados del mueble ha hecho que el comercio internacional de muebles crezca más rápido que la producción de muebles y el comercio internacional de manufacturas (CSIL, 2008). El comercio mundial de muebles ha pasado de 42.000 millones de dólares en 1997 a 97.000 millones de dólares en 2007 (You, 2007). También se ha producido un cambio drástico en la oferta y el flujo de muebles en el mercado mundial.

Los Estados miembros de la UE fabrican el 28% de los muebles que se venden en el mundo, lo que representa un mercado de 84.000 millones de euros y da empleo a aproximadamente un millón de trabajadores europeos.

En Chile, La Industria del Mueble de Madera está constituida por unas 2.260 unidades productivas, que van de un modesto taller con características artesanales, hasta las medianas y grandes fábricas. Solamente un 10% podrían catalogarse como fábricas con producción industrial. Más del 60% de estas empresas están ubicadas en la Región Metropolitana y generan un 70% de la producción del país. Estas empresas dan empleo directo a más de 35.000 personas e indirecto a unas 75.000. Según estimaciones de Asimad (Asociación de Industriales de la Madera), basadas en un estudio realizado a mediados de la década de los noventa, el tamaño del mercado interno fue de US\$ 226 millones sin considerar las importaciones de ese periodo que fue de US\$ 8 millones. De esa época al 2002, su tamaño se redujo a US\$ 214 millones pero las importaciones llegaron a US\$ 48 millones. (Mena, 2007).

3.2 Tablero aglomerado (MDP), tablero de densidad media (MDF) y tablero contrachapado

Los tableros en base a madera son una de las materias primas más importantes en la fabricación de muebles como; mobiliario de interior, modulación de cocinas, armarios, cómodas, estanterías, muebles de oficina, etc. Dependiendo del tipo de mueble, los tableros de partículas, los tableros de densidad media (MDF), los tableros de virutas orientadas (OSB) y la madera contrachapada (Youngquist et al. 1997, Kharazipour 2004) son los más empleados. El uso de tableros de madera está directamente asociado a sus propiedades físicas y mecánicas. Las restricciones técnicas para el uso y aplicación de diferentes tipos de paneles de madera involucran características como resistencia mecánica, estabilidad dimensional, uniformidad superficial, maquinabilidad, resistencia a tornillos de fijación, entre otras. Los principales usos y aplicaciones de los tableros de madera están asociados principalmente a los segmentos de construcción civil y mobiliario, por sus características tecnológicas (ABIMCI, 2009).

3.2.1 Tablero aglomerado (MDP)

Un tablero aglomerado o de partículas se define como un panel a base de madera fabricado bajo presión y calor a partir de partículas de madera (astillas de madera), normalmente con la adición de un adhesivo (EPF 2005).

3.2.2 Tablero de fibras densidad media (MDF)

El tablero de fibras de densidad media (MDF) se fabrica a partir de fibras lignocelulósicas combinadas con una resina sintética en un proceso seco mediante prensado en caliente (Thoemen & Humphrey ,2003).

3.2.3 Tablero contrachapado

La madera contrachapada, como primera madera de ingeniería inventada, está hecha de láminas de chapa de madera apiladas unas sobre otras, en sentido transversal a las direcciones de sus vetas (O'Halloran, 1989).

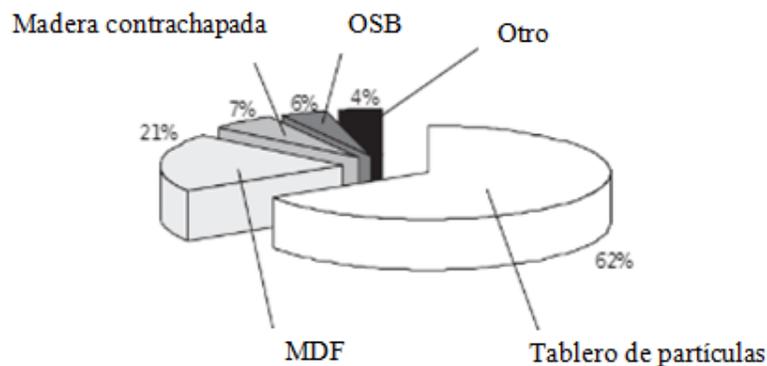


Figura 3.1 Producción de tableros en Europa en el año 2005 (Kloeser, 2007)

Entre los productos derivados de la madera, el OSB es uno de los tableros que ha sido crecientemente utilizado en subsistemas constructivos alrededor del mundo, sin embargo, su uso en la fabricación de muebles es muy limitada y nula.

3.3 Residuos Sólidos de tablero.

Se refieren principalmente a residuos de madera generados en la industria del mueble, los cuales son generados en gran cantidad. A estos residuos se les han aplicado tratamientos y aditivos con el fin de mejorar sus propiedades, sin embargo, pueden favorecer la formación de contaminantes si no tienen un buen manejo (Moreno, 2016), siendo un riesgo para la salud humana y al medio ambiente.

Según las estadísticas de la Federación Europea de Fabricantes de Muebles (UEA), aproximadamente el 85% de los residuos sólidos de tablero de la UE se incineran o se envían al vertedero, mientras que el 10% se recicla. (Bonviu, 2014) La actividad de reutilización en el sector se considera baja. Cuando se produce la reutilización, es sobre todo a través de las tiendas comerciales de segunda mano, las empresas sociales o las organizaciones benéficas.

Actualmente en Chile no se está aprovechando al máximo el potencial que poseen los residuos de tablero de madera debido a diversos factores:

- a) Falta de normativas y regulación, que exija una clasificación de los residuos de tablero de madera según su tipología.
- b) Ausencia de valorización de residuos de tablero de madera, la escasa inversión e implicación de las administraciones públicas en la valorización energética de estos residuos.

3.4 Valorización y/o Recuperación de residuos sólidos

Conjunto de acciones asociadas cuyo objetivo es recuperar un producto, uno o varios de los materiales que lo componen y/o el poder calorífico de los mismos.

3.5 Desafíos de la economía Circular

La economía circular ha ido ganando adeptos como un enfoque para lograr la sostenibilidad local, nacional y mundial. Su objetivo es conservar los recursos naturales sustituyendo los productos por servicios y diseñando las cosas para que se utilicen una y otra vez antes de recuperar los materiales. Finalmente, los materiales se recuperan y se reciclan de nuevo en nuevos recursos, reflejando el ciclo de los elementos en los sistemas naturales, en el que los residuos de un proceso son el alimento de otro. (Camacho-Otero, 2018) Sin embargo, la transición de lineal a circular requiere cambios significativos a nivel micro, meso y macro, desde la innovación a nivel de modelo de negocio y cadena de valor hasta la introducción de medidas políticas de apoyo.

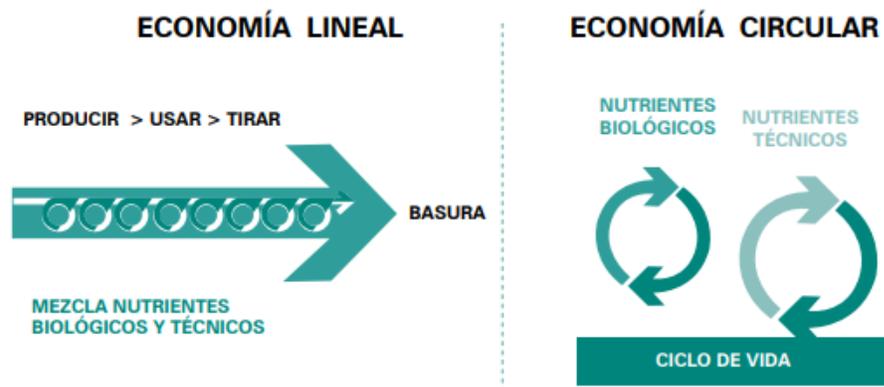


Figura 3.2 Comparación entre economía lineal y economía circular (Balboa, 2014)

Los informes pertinentes sugieren que los enfoques de la EC podrían aportar importantes beneficios en cuanto a ahorro de costos, creación de empleo, la innovación, la productividad y la eficiencia de los recursos, tanto en los países desarrollados como en los países en desarrollo (Schroeder, 2018)

3.5 Eco diseño: Herramienta clave para la Economía circular

En términos generales, el Ecodiseño puede ayudar a las empresas a mejorar su desempeño ambiental. Como consecuencia, las empresas pueden lograr beneficios adicionales como :

- a) reducción del impacto ambiental de los productos;
- b) optimiza el consumo de materias primas y el uso de energía;
- c) mejora la gestión de residuos;
- d) impulsa a las empresas hacia la innovación;
- e) reduce la producción costos y así sucesivamente.

Sin embargo, algunos estudios previos sobre la aplicación de estrategias de Eco diseño han indicado que existen algunas barreras para su implementación. Por ejemplo, las empresas han sugerido que no se sienten responsables de la protección del medio ambiente, tampoco ven beneficios claros de la implementación de acciones de protección ambiental y creen que no hay una solución alternativa en este momento. (Costa, 2003).

3.6 Situación en otros países

3.6.1 Australia

La utilización de los recursos de madera de desecho también se reconoce como una cuestión clave en Australia. La investigación de mercado ha revelado que las razones principales de la falta de reducción de residuos por parte de las pequeñas y medianas empresas se debe a la percepción de que la gestión de los residuos de madera tiene un bajo costo, a la falta de concienciación y comprensión y a la escasa o nula orientación sobre cómo reciclar los residuos.

En Australia, la madera recuperada se utiliza en diversas aplicaciones, aunque estos mercados son bastante limitados. Los principales usos de la madera recuperada son el combustible, la madera recuperada (reciclada), el lecho para animales y el reciclaje en tableros de partículas. (Daian, 2009)

3.6.2 Alemania

La nueva ley alemana de gestión de ciclo cerrado pretende convertir la gestión de residuos en una gestión de recursos. La constatación de que los residuos pueden ser una fuente útil de materias primas y energía no es nueva; antes se han recogido metales, vidrio y textiles y se les ha dado un nuevo uso. La política de gestión de residuos, que se ha ido adaptando en Alemania en los últimos 20 años, se basa en ciclos cerrados y asigna responsabilidades de eliminación a los fabricantes y distribuidores de productos. Esto ha hecho que la gente sea más consciente de la necesidad de separar los residuos, ha llevado a la introducción de nuevas tecnologías de eliminación y ha aumentado la capacidad de reciclaje. En la actualidad, el 14% de las materias primas utilizadas por la industria alemana son residuos recuperados, lo que conlleva una reducción de los niveles de extracción y de los impactos ambientales asociados.

La gestión moderna del ciclo cerrado contribuye, con una cuota de aproximadamente el 20%, a alcanzar los objetivos alemanes de Kioto sobre la reducción de las emisiones relevantes para el clima. La gestión del ciclo cerrado no es sólo una contribución a la protección del medio ambiente, sino que también es rentable económicamente.

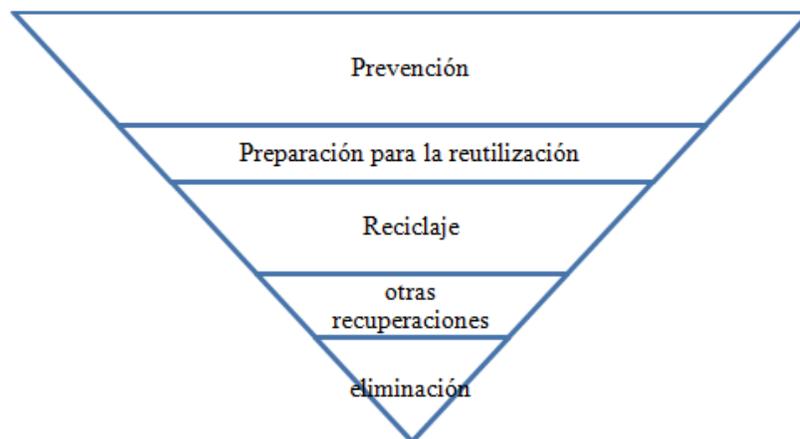


Figura. 3.3 Jerarquía de residuos según la legislación europea y alemana (Nelles, 2016)

3.6.3 China

China es el mayor exportador de muebles del mundo, como una parte significativa de la industria manufacturera mundial, el tamaño del mercado de muebles de China alcanzó casi 600 mil millones de dólares en 2018 (informes de Global Market Insights). Con su rápido crecimiento también viene el aumento de la contaminación y los peligros ambientales, y grandes consumos de recursos naturales. En tal contexto, la transición hacia la fabricación ecológica de la industria del mueble ha ido adquiriendo una importancia cada vez mayor para la sostenibilidad.

China ha determinado que promover la fabricación ecológica es la única vía para el desarrollo de la industria del mueble en el país. Sin embargo, todavía existen algunas deficiencias en la conciencia pública, la tecnología de fabricación, las leyes y los reglamentos para la fabricación de muebles ecológicos. (Xiong ,2020)

3.7 Tecnologías de valorización de residuos de tableros de madera

Los residuos de madera de muebles podrían valorizarse energéticamente, con tecnologías térmicas como son la pirólisis, la gasificación y la combustión. Sin embargo, la aplicación de este tipo de tecnologías puede presentar como inconveniente la formación de contaminantes debido a los adhesivos, aceites, pinturas y barnices empleados en la fabricación de muebles.

Además, estos aditivos modifican el comportamiento de la madera durante su descomposición térmica. (Moreno, 2015). Los gases desprendidos con la madera tratada con aditivos de melamina y urea y en la descomposición térmica pueden producir algunos compuestos nitrogenados, como amoníaco, ácido isociánico, entre otros. (Girods, 2008).

3.7.1 Marco Normativo Residuos Sólidos en Chile

La transformación de residuos a energía es una realidad en países desarrollados como Estados Unidos y países de Europa. Sin embargo, Chile se ha mantenido al margen de este desarrollo mundial. Por una parte Chile tiene muy bajo nivel de inversión en investigación y desarrollo, pero por otra parte los inversionistas en Chile no quieren invertir en proyectos que sean en alguna medida riesgosos. A continuación, se presentan las principales leyes, decretos supremos y normas chilenas que definen el marco normativo del manejo de residuos sólidos en Chile

1994: entra en vigencia la Ley 19.300: Bases Generales del Medio Ambiente. Según el Artículo 1º: se regulará “El derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación, la protección del medio ambiente, la preservación de la naturaleza y la conservación del patrimonio ambiental”.

2013: Decreto 29: establece norma de emisión para incineración co-incineración y co-procesamiento.

2016: Ley 20.920, Ley Marco para La Gestión de Residuos, la Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento al Reciclaje.

Siguiendo el protocolo de Kioto, Chile participa en el Programa de Reducción Certificada de Emisiones (Bonos de Carbono) y muchas de las grandes compañías chilenas destacan públicamente su huella de carbono y los planes para reducirla, ayudando a crear y aumentar la conciencia pública aún cuando Chile tiene un bajo nivel de emisiones per cápita, de hecho mucho menor que el resto de los países miembros de la OCDE. (Fernández, 2019)

Es así como la empresa MR Muebles tiene la necesidad de realizar planes estratégicos para la valorización y administración de los residuos sólidos generados en el sector, de forma que no

supongan un costo añadido dentro del proceso productivo y se transformen en la posibilidad de conseguir un subproducto que suponga un beneficio para la empresa.

4. OBJETIVOS GENERALES Y OBJETIVOS ESPECIFICOS

4.1 Objetivo general

- Desarrollar un plan estratégico para la empresa MR Muebles orientado a minimizar el volumen de los residuos sólidos que son llevados hoy a vertedero por la empresa, incorporando el manejo y valorización.

4.2 Objetivos específicos

- Clasificar y caracterizar los residuos sólidos generados en la empresa MR Muebles.
- Cuantificar los residuos sólidos de tableros de diferentes tipos generados en la empresa en un tiempo determinado y relacionarlos con la producción.
- Proponer alternativas de reutilización y/o la reincorporación de los residuos a un proceso productivo, y estudiar el mercado de subproductos.
- Evaluar técnica y económicamente las alternativas propuestas para la empresa MR Muebles.

5. METODOLOGÍA.

Para abordar adecuadamente los objetivos establecidos, se llevó a cabo un estudio técnico práctico administrado por un asistente de la empresa MR, lo que permitió la obtención de información relevante de las operaciones para responder los objetivos específicos propuestos en el informe.

5.1 Procedimiento

5.1.1 Obtención de base de datos

Se contempla como una de las primeras actividades para el desarrollo de la propuesta, la realización de una reunión de inicio con el gerente de la empresa MR Muebles, señor Felipe Ramírez, con el propósito de llevar a cabo un levantamiento de información sobre las principales operaciones productivas y/o antecedentes relevantes de la empresa.

5.2 Cuantificación de residuos

Para la verificación de cantidad de material residual que se genera dentro de la empresa, se debió separar las diferentes muestras de residuos sólidos producidos en una semana, en contenedores de 380, 164 y 115 Litros.

Tipo de Residuo	Volumen contenedores individuales (m ³)
Despunte Melamina (MDP 1/2) *	0,38
Despunte Trupan MDF	0,164
Despunte Terciado – contrachapado	0,164
Despunte Piedra cuarzo	0,115
Despunte Piedra Granito	0,115

Tabla 5.1 Volumen de contenedores para cada residuo sólido

La densidad del tablero es una medida de la compactación individual de una partícula dentro del tablero y es dependiente, principalmente, de la densidad de la madera y la presión aplicada

durante el prensado. Un incremento en la densidad del tablero resulta en una mejor eficiencia de la resina, debido a la mejora de uniones adhesivas entre partícula y adhesivo. A continuación, la tabla 5.3 muestra la densidad promedio de los diferentes productos empleados en la empresa MR

Producto	Densidad Promedio (Kg/m ³)
Tablero aglomerado (MDP 1/2)*	570
Tablero densidad media MDF	550
Tablero contrachapado	545
Piedra cuarzo	2650
Piedra Granito	2600

Tabla 5.2 Densidad de materiales

Estimación de la composición de los residuos por peso, este paso implicaba la conversión de la composición de los residuos por volumen a la composición por peso. Esto podía hacerse mediante la **Ec. 1**, donde se debió multiplicar el volumen de cada contenedor con un residuo en particular por la densidad promedio del residuo. La densidad promedio se obtuvo mediante fichas técnicas de tableros Arauco (8).

$$m = \rho \cdot V_{CONTENEDOR} \quad Ec 1.$$

$$m = \text{masa residuo [kg]}$$

$$\rho = \text{densidad promedio del residuo } \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

$$V_{CONTENEDOR} = \text{Volumen del contenedor lleno en una semana [m}^3\text{]}$$

5.3 Caracterización física de los residuos

El muestreo contempló la selección al azar de un residuo de tablero/piedra de cada contenedor, posteriormente se tomaron las medidas (*ancho × largo × espesor*) de cada uno con una huincha de medir. Para determinar el tamaño y forma de los residuos.

5.4 Composición química de los residuos

Para conocer la composición química, se debió revisar el tipo de adhesivo y revestimiento de las muestras de residuo solido de tablero/piedra, por medio de fichas técnicas de principales proveedores de tableros a la empresa en estudio.

	Residuos de madera para muebles	Madera sólida
Humedad (% en peso)	9–11	10–14
Análisis en base seca		
Análisis de proximidad		
Contenido de cenizas (% en peso)	1.8 ± 0.1	0.3 ± 0.1
Materia volátil (% en peso)	77.3 ± 0.4	80.1 ± 0.2
Carbono fijo por diferencia (% en peso)	20.9 ± 0.4	19.6 ± 0.2
Análisis elemental		
C (% en peso)	47.9 ± 0.03	52.7 ± 0.1
H (% en peso)	6.0 ± 0.1	6.2 ± 0.1
N (% en peso)	2.9 ± 0.6	nd
S (% en peso)	0.05 ± 0.01	0.007 ± 0.005
O estimado por diferencia	41.4 ± 0.6	40.8 ± 0.1
Cl (% en peso)	0.06 ± 0.01	0.02 ± 0.01
Valor calorífico neto (MJ kg-1)	15.8 ± 0.1	19.5 ± 0.5
Composición		
Extractos de etanol (% en peso)	2.72 ± 0.05	–
Hemicelulosa (% en peso)	18.0 ± 3.6	–
Celulosa (% en peso)	44.7 ± 2.5	–
Lignina (% en peso)	33.0 ± 1.1	–

Tabla 5.4 Caracterización de los residuos de madera de muebles y de la madera sólida

5.5 Gestión de residuos sólidos

Una vez realizado el levantamiento y revisión de la información disponible, se contempla el desarrollo de alternativas de manejo de residuos con su evaluación técnico-económica. Las opciones se discutirán, mediante un focus group, en conjunto con un ejecutivo y el gerente Felipe Ramírez de la empresa, el profesor guía, y la suscrita en este trabajo de HP.

5.5.1. Evaluación y análisis económico: desarrollo de indicadores económicos

Para la evaluación de cada una de las propuestas y del caso base, se empleó el estudio de prefactibilidad técnico-económica. Es decir, se realizaron estimaciones de las inversiones a realizar en base a información secundaria (cotizaciones preliminares, y estimaciones genéricas de equipos), de los ingresos y de los costos variables, costos fijos, y capital de trabajo. Se llevó a cabo un análisis de rentabilidad usando flujo de caja puro y con financiamiento bancario, analizando el atractivo de cada propuesta a través de los indicadores económicos Valor Actual Neto VAN, Tasa Interna de Retorno TIR, y Periodo de Recuperación de la inversión PAY-BACK.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Resultados

La empresa MR Muebles, ubicada en la ciudad de Concepción, cuenta con un punto de venta con una infraestructura que satisface las necesidades de los clientes, con maquinaria especializada, prestan el servicio de diseño, corte, perforaciones, ranurado, piezas especiales y el transporte, para lo cual además tienen un personal capacitado en los procesos de ventas, diseñadores, entre otros. Como se ve en el diagrama de procesos de la empresa MR Muebles, figura 6.1

6.1.2 Proceso productivo de los productos fabricados en MR muebles.

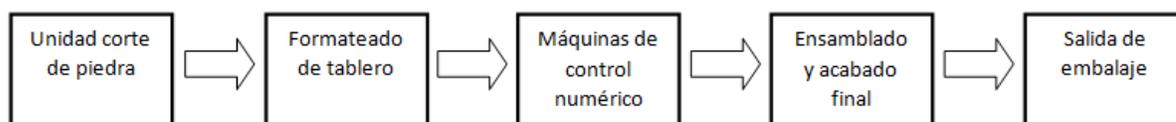


Figura 6.1 Diagrama de bloques del proceso productivo general de productos fabricados en MR muebles

Fuente: Elaboración Propia

6.1.3 Datos de consumo de tableros

Producto	Cantidad mensual promedio	Costo
Tablero aglomerado MDP 1 (15 mm)*	130 planchas	\$4.513.600
Tablero aglomerado MDP 2(18 mm)	130 planchas	\$5.592.990
Tablero densidad media MDF	130 planchas	\$804.700
Tablero contrachapado	130 planchas	\$2.359.500
Cubiertas cuarzo	100 cubiertas	\$10.000.000
Cubiertas Granito	100 cubiertas	\$4.199.000

Tabla 6.1 Consumo mensual de tableros en empresa MR Muebles

Servicio	Costo
Transporte	\$80.000
Mano obra	\$100.000
Cantidad residuos generados al mes (Ton/2 UF)	\$240.000
Total	\$420.000

Tabla 6.2 Costos de servicio de evacuación de residuos a vertedero Copiulemu. (Hidronor)

Actualmente la empresa MR consume como materia prima alrededor de 2 ½ pallets de planchas de diferente tipo o composición al mes para la producción de muebles. Si la producción en un futuro aumentara a 4 pallet de planchas la cantidad de residuos generados serían el doble de lo que se genera hoy en día en MR Muebles. Es decir, aumentaría a la vez la el costo por enviar al vertedero la fracción de residuos de tableros de madera.



Figura 6.2 Residuos de tablero generados en etapa de formateado de tablero.

Por otro lado, se identificó que en la etapa de formateado de tablero (corte, cepillado y lijado) se genera una cantidad importante de residuos de alrededor de 1,5 toneladas mensualmente, compuesto por virutas, polvo y recortes de madera de diferentes tipos de tableros dependiendo del proyecto del cliente, como: despuntes de tablero de densidad media (MDF), residuos de tablero aglomerado (MDP) y residuos de tablero contrachapado, los que son desperdiciados dejándolos deteriorarse o en sitios en los que pierden sus propiedades.



Figura 6.3 Sector de acopio de residuos

Los residuos sólidos generados en la empresa MR, representan el tema de interés a analizar, diagnosticar y estudiar para proponer posibles soluciones para la fábrica de muebles de madera.

6.2 Cuantificación de los residuos

La empresa MR muebles consume alrededor de 2 ½ pallet de planchas de diferente tipo o composición al mes como materia prima fundamental para la producción de muebles. En consecuencia, se genera alrededor de 1,5 toneladas de residuos sólidos de tablero al mes lo que al año se convierte en aproximadamente 18 toneladas.

La tabla 6.3 muestra la cantidad de residuos sólidos que se generan en mayor proporción durante una semana de producción de la empresa. La generación semanal se obtuvo mediante la **Ec.1** descrita en la metodología.

Tipo de residuo	Volumen contenedores individuales (m ³)	Densidad Promedio (Kg/m ³)	Generación semanal (Kg)
Despunte tablero aglomerado MDP 1/2 *	0,38	570	216,6
Despunte tablero densidad media MDF	0,164	550	90,2
Despunte tablero contrachapado	0,164	545	89,38
Despunte Piedra cuarzo	0,115	2650	304,75
Despunte Piedra Granito	0,115	2600	299
Total (Kg)			999,93

Tabla 6.3 Cuantificación de los residuos

Generación mensual de residuos sólidos

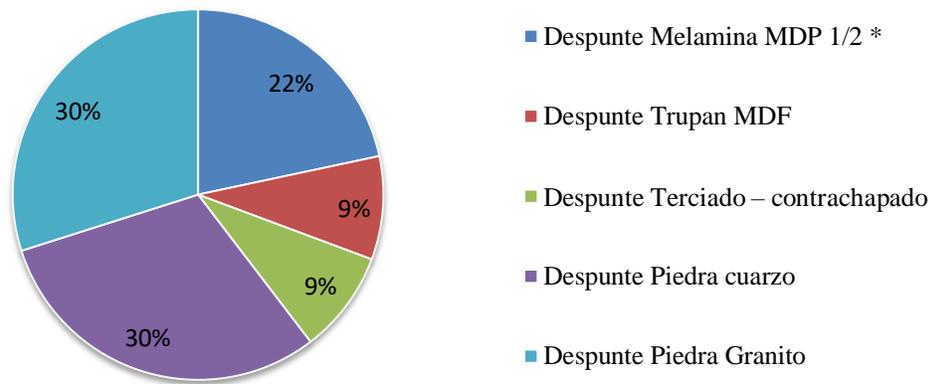


Figura 6.4 Distribución de la cantidad de residuos sólidos generados en MR.

A partir de los datos proporcionados, se determinó que el residuo sólido de tablero que más se genera durante la semana es el despunte de tablero aglomerado o melamina (MDP), con un 22%. Y los residuos de piedra cuarzo y granito por su alta densidad, constituyen al 60% del total de residuos generados.

6.3 Caracterización Física de los residuos

En la tabla 6.1 se encuentran los resultados de la forma y del tamaño de los despuntes escogidos al azar en una semana de producción típica de la empresa.

Residuo sólido	Humedad %	Dimensiones		
		Ancho (m)	Largo (m)	Espesor (m)
Despunte tablero aglomerado MDP 1 (18mm)	6%	0,178	0,364	0,018
Despunte tablero aglomerado MDP 2 (15mm)	6%	0,1	0,247	0,015
Despunte tablero densidad media MDF	4 -10 %	0,043	0,32	0,027
Despunte tablero contrachapado	7%	0,101	0,286	6
Despunte Piedra cuarzo	-	0,25	0,5	0,02
Despunte Piedra Granito	-	0,25	0,28	0,02

Tabla 6.4 Tipo de residuo generado y sus características

Los resultados demuestran que los residuos de despuntes son de forma relativamente cubica en las clases de tamaño superiores. Los residuos de tableros encolados con adhesivo UF no son aptos para uso a la intemperie (Zambrano, 2013) una exposición prolongada a la humedad lleva a la ruptura de los enlaces que forman la adhesión entre los grupos activos de la madera (partículas) y el adhesivo afectando sus propiedades físico mecánicas. Un calor excesivo también produce una degradación química del fraguado de la resina UF. Sin embargo, si existe un buen manejo de estos residuos es posible que conserven sus propiedades y posteriormente se podrían reutilizar.

6.4 Composición química de los residuos

Se identificaron sustancias potencialmente contaminantes presentes en los distintos residuos generados. La composición y tipo de adhesivo y/o revestimiento se encuentran en la Tabla 6.5

Residuo sólido	Composición	Revestimiento / Adhesivo
Despunte tablero Aglomerado-MDP	80% fibras, 10% resinas sintéticas, 7% agua y 1% de parafinas.	Melamina/fenolformaldehído
Despunte tablero densidad media-MDF	80% fibras, 10% resinas sintéticas, 7% agua y 1% de parafinas	/Urea Formaldehido
Despunte tablero contrachapado	80% fibras, 10% resinas sintéticas, 7% agua y 1% de parafinas.	/ fenolformaldehído [8]
Despunte Piedra cuarzo	90% piedra , 10 % masilla	Masilla (marca : Marson)
Despunte Piedra Granito	90% piedra , 10 % masilla	Masilla (marca : Marson)

Tabla 6.5 Composición de residuos sólidos de madera – piedra

Los polímero termoestables, fenolformaldehído y Urea Formaldehido, de cadena larga están entrelazadas en una organización tridimensional, obtienen una estructura con fuertes enlaces covalentes. Después de la polimerización la forma de la pieza se conserva de manera permanente. La reacción de curado (entrecruzamiento), a diferencia de los termoplásticos es irreversible. Los polímeros termoestables no poseen una temperatura de transición vítrea definida. Dada la naturaleza de los enlaces, la resistencia y la dureza de un termoestable no se ven, a diferencia de los termoplásticos, afectados por la temperatura, ni por la velocidad de deformación. Si se incrementa de forma importante la temperatura, el polímero termoestable empezará más bien a quemarse, degradarse y carbonizarse. (Velázquez, 2016.) . Se ha demostrado que el formaldehído es tóxico in vitro en diversos sistemas experimentales (Lyuty, 2017)

La estructura del polímero es extremadamente compleja; es una red tridimensional parecida a la estructura de una red interpenetrada. Se observa que los anillos fenólicos están ligados por

unidades CH₂ del formaldehído estas resinas no se pueden fundir ni moldear de nuevo; son termofijas.

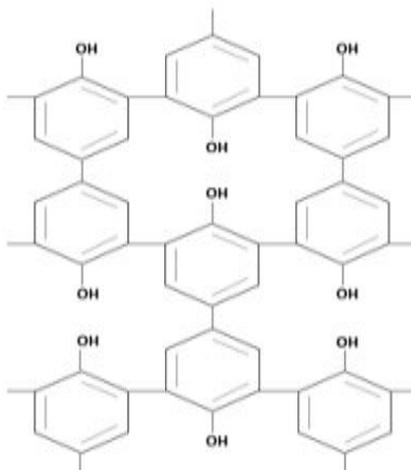


Figura 6.5 Estructura química de la resina de fenol-formaldehído (Velázquez, 2016)

El contenido de resina en los residuos de tablero, es uno de los principales motivos para no optar por procesos térmicos, debido a que el contenido de resina podría aumentar las posibles emisiones de formaldehído del tablero, lo que provocaría problemas de salud y medioambientales. Por lo que en la toma de decisiones, se considerarán otras alternativas de reutilización y/o la reincorporación de los residuos a un proceso productivo, como una forma de minimizar su impacto tanto en la empresa MR como en el medio ambiente.

6.5 Gestión de residuos sólidos de tablero y propuesta de mejora

La propuesta de mejora para la empresa MR muebles consiste en un plan estratégico que se divide en 2 propuestas complementarias y una situación base, donde inicialmente se realiza una clasificación para segregar los residuos sólidos de tablero según el tipo. La reutilización externa, consiste en triturar los residuos sólidos solo de tablero MDF y obtener astillas, posteriormente la materia prima será trasladada hasta las dependencias de la planta Arauco para la fabricación de nuevos tableros MDF. La entrega a penitenciaría, consiste en una vez clasificados los residuos sólidos de tablero MDP y contrachapado en contenedores independientes, estos serán trasladados desde la empresa MR hasta las dependencias de la penitenciaría en Concepción para su empleo en fabricación de objetos decorativos, entre otros. Los residuos sólidos de piedra generados seguirán siendo evacuados a vertedero. Ambas propuestas complementarias han sido discutidas preliminarmente con ejecutivos (8) de empresas afines, y son de factibilidad plena.

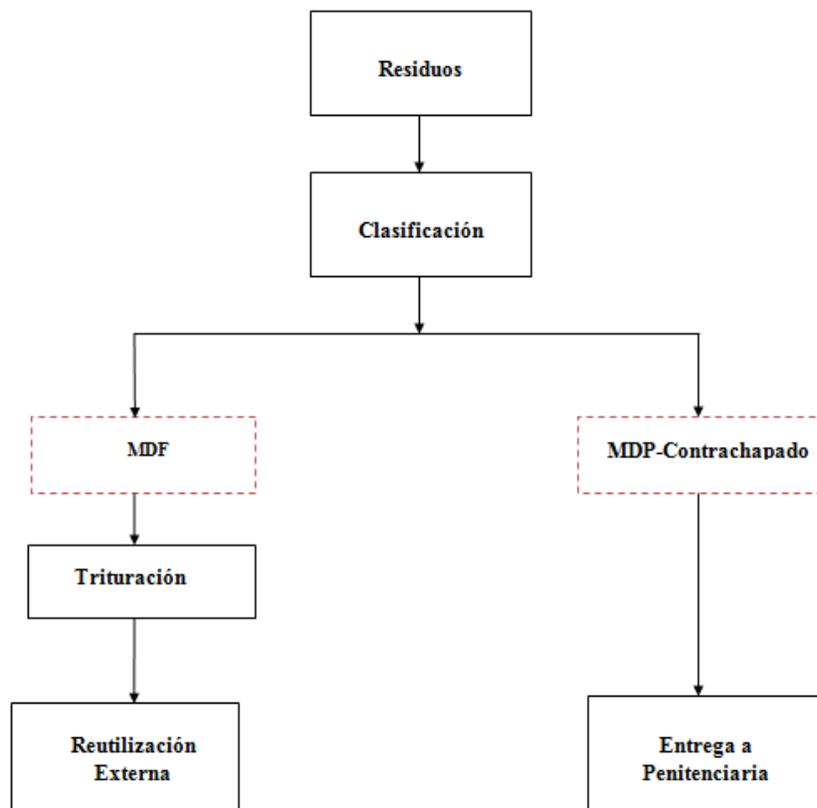


Figura 6.6 Propuesta de mejora para MR muebles

6.5.1- Clasificación y gestión de los Residuos

Mediante el análisis de la situación actual de la empresa MR, se detectó un problema en cuanto a dispersión de los residuos a la hora de su recolección, estos se apilan unos sobre otros y esto dificulta la labor de los empleados al momento de recolectarlos, y su posterior separación es una de las mayores dificultades para su adecuada gestión.

Para solventar este problema se propone:

- Incorporar puntos limpios al interior de la empresa.
- Establecer zonas de acopio delimitadas y claramente identificadas.

La separación y el reciclaje representan una oportunidad para clasificar los residuos sólidos de tablero según su tipología, de manera de poder reducir los costos asociados a la disposición de escombros y horas de trabajo de equipos de carga. Es decir, para reducir la tasa de accidentes, tener más despejado las áreas de trabajo, y como un beneficio para el medio ambiente en general.

Inversión

	Cantidad	Capacidad volumétrica (L)	Pesos	USD
Contenedor (MDF)	1	380	\$100.000	\$126,38
Contenedor (MDP)	1	164	\$50.000	\$63,19
Contenedor (contrachapado)	1	164	\$50.000	\$63,19
Contenedor piedra (cuarzo-granito)	1	328	\$100.000	\$126,38

Tabla 6.6 Detalle de la inversión para la propuesta de mejora.

6.5.2 Reutilización Externa

La reutilización externa consiste en relacionarse con la fábrica de tableros de MDF, ubicada en la comuna de Yungay, donde puedan hacer uso de los materiales generados, los residuos de tablero de interés por parte de la empresa Arauco corresponden a astillas de residuos de tableros de densidad media (MDF). El objetivo es que sea beneficioso para ambas partes en tanto la empresa MR reduce la cantidad de residuos de tablero necesario de llevar a vertedero, y con ellos el costo asociado, mientras que quien lo recibe lo aprovecha como materia prima para sus propias actividades.

Inversión

	Pesos	Monto USD
Triturador	\$2.000.000	2.556,99
Construcción planta de astillado	\$200.000	255,70
Mantenición trituradora (cuchillos)	\$240.000	306,84

Tabla 6.7 Detalle de costos de inversión

La inversión descrita consiste en triturar los residuos de tablero de densidad media MDF, hasta obtener astillas, el monto más significativo es la máquina trituradora. La construcción de la planta de astillado considera; la máquina trituradora, contenedor de astillas (silo), sistema de colección y supresión de polvo. Se estima que el transporte será realizado por un camión para trasladar la materia prima MDF triturado desde la empresa MR muebles en Concepción hasta empresa planta de tableros de MDF (Yungay). Sin embargo, el transporte será considerado como un contrato a un tercero.

Máquina de trituración

Modelo	GWT11	
Marca	Garden Wood	
Motor	Eléctrico Trifásico	
Potencia triturador	7.5- 11	kW
Costo operación triturador al mes (MWh)	40.000	pesos
Máximo tonelaje de procesamiento	0.5-1.0	Ton/hr

Tabla 6.8 Detalles de la máquina trituradora. (9)

6.5.3 Entrega a Penitenciaria

La entrega a penitenciaria consiste en relacionarse con el establecimiento, ubicado en Concepción, donde puedan hacer uso de los materiales generados, los cuales corresponden a residuos de tableros aglomerados (MDP) y residuos de tableros contrachapado. El objetivo es que sea beneficioso para ambas partes en tanto la empresa MR reduce la cantidad de residuos de tablero necesario de llevar a vertedero, y con ellos el costo asociado, mientras que quien lo recibe lo aprovecha como materia prima para sus propias actividades.

Inversión

	Cantidad	Capacidad volumétrica (L)	Pesos	USD
Contenedor (MDP)	1	164	\$50.000	\$63,19
Contenedor (contrachapado)	1	164	\$50.000	\$63,19

Tabla 6.9 Detalle de costos de inversión

La inversión consiste en disponer de contenedores para lograr recolectar los residuos de tablero de aglomerado (MDP) y tablero contrachapado, para su posterior traslado hasta las dependencias de la penitenciaria en Concepción.

6.5.4 Evaluación y análisis económico

Contando ya con la estimación de la cantidad de residuos sólidos a procesar y maquinaria a utilizar, entre otros importantes factores, se debió determinar la viabilidad de las propuestas, lo que se realizó mediante una evaluación económica del proyecto. Para esto se utilizó las herramientas de cálculo y parámetros de estudio. En la propuesta se evaluó el flujo de caja puro y con crédito, y se evaluó en un horizonte de 5 años.

Reutilización Externa

A continuación, se indican los supuestos básicos empleados en la evaluación técnico-económica de cada una de la propuesta:

1. Capital de trabajo: se considerará un capital de trabajo de 6 meses de operación y un flujo anual de 5. La razón de esto es que se espera contar con un stock de materias primas de 3 BDMT, ya que se asegura la disponibilidad tanto por el lado de las ventas como por el pago a proveedores.
2. Operación máquina de trituración: operará 2 horas al día por 20 días al mes.
3. Periodo de inversión: Se evaluará el proyecto con un horizonte de 5 años.

Como se puede apreciar en la tabla 6.7, el monto más significativo de inversión es la máquina trituradora. Las otras inversiones son menores. Se considera un camión para trasladar la materia prima MDF triturado desde la empresa MR muebles en Concepción hasta empresa planta de tableros de MDF (Yungay), aunque el transporte será un costo variable y no habrá inversión. Otras inversiones más pequeñas son la inversión en mantención y electricidad.

4. Otras consideraciones:

Ingresos:

- El ingreso, que corresponde a la venta de materia prima (MDF triturado), fue proporcionada por asistente de la empresa Arauco. Se considero un aumento del 10% en el ingreso anual, utilizando a un horizonte de evaluación de 5 años.

Egresos:

- El sueldo del operador se determinó según un sueldo y un bono de producción promedio del área de fabricación de muebles, información entregada por el área de gerencia de MR Muebles.
- En cuanto al costo de mantención, se asumió un costo del 1% mensual de la inversión original.
- El costo de transporte entre las comunas de Concepción hasta Arauco fue determinado según la ecuación 2.

$$C_t = T_m \cdot F_{BDMT \text{ a } m^3 ssc} \cdot C_{m^3} \cdot F_{m^3 ssc \text{ a astilla estéreo}} \quad (Ec 2)$$

C_t : Costo de transporte de astillas de MDF (\$)

T_m : Toneladas producidas promedio mensual (Ton)

$F_{BDMT \text{ a } ssc}$: Factor de conversión de 1 BDMT a m^3 scc $\left(\frac{m^3}{Ton}\right)$

C_{m^3} : Costo de transporte de m^3 estéreos de astillas $\left(\frac{\$}{m^3}\right)$

$F_{m^3 ssc \text{ a astilla estéreo}}$: Factor de conversión de m^3 scc a volumen estereo de astillas $\left(\frac{m^3 \text{ estéreo}}{m^3 ssc}\right)$

- El costo de energía fue determinado según la ecuación 3.

$$C_{energía} = \frac{V \cdot \cos(\emptyset) \cdot A \cdot \sqrt{3} \cdot h \cdot d \cdot C_{kw/h}}{1.000} \quad (Ec 3)$$

Donde:

$C_{energía}$: Costo de energía mensual (\$)

V: Voltaje máquina trituradora de motor de corriente trifásica (V)

$\cos(\emptyset)$: Factor de potencia

A: Amperaje (A)

h: Horas por jornada diaria

d: Días trabajados mensuales

$C_{kw/h}$: Costo de kilowatts por hora (\$)

Se realizó la conversión empleando la fórmula de la tabla 9.1 en el anexo, de astillas de residuos de tablero MDF de m³ estéreos a BDMT, los resultados se encuentran en la tabla 9.2 del anexo.

Se determinó el indicador VAN, con la tasa de descuento de 10 y 12%, y el indicador TIR, lo que permitió determinar la viabilidad económica de las propuestas.

VAN 10%		VAN 12%		TIR %	PAY-BACK
-	2.611.224	-	2.559.234	-70%	4,49
-	711.122	-	819.944	-5%	2,48
	1.280.878		1.067.849	20%	1,71
	3.272.878		2.955.641	45%	1,31
	5.264.878		4.843.434	65%	1,06
	7.256.878		6.731.227	80%	-
	9.248.878		8.619.020	90%	-
	11.240.878		10.506.812	120%	-
	13.232.878		12.394.605	130%	-
	15.224.878		14.282.398	150%	-

Tabla 6.10. Flujo de caja puro reutilización externa.

Como se puede observar en la tabla 6.10, los indicadores VAN de la reutilización externa comienzan a ser positivos al aumentar la producción de la empresa MR y con ello la generación

de residuos de tablero (MDF) de 1 a 10 BDMT. Por otro lado, las tasas internas de retorno TIR aumentan, y los pay-back van disminuyendo, el punto de equilibrio se obtiene en el 20%, es decir, que a partir de este momento la propuesta se hace rentable

VAN 10%	VAN 12%	TIR %	PAY-BACK
- 4.198.642	- 4.406.884	-110%	2,42
- 1.114.591	- 1.132.500	-30%	1,27
696.318	583.675	20%	-
2.507.227	2.299.851	60%	-
4.318.136	4.016.026	90%	-
6.129.045	5.732.201	120%	-
7.939.954	7.448.376	160%	-
9.750.864	9.164.552	190%	-
11.561.773	10.880.727	200%	-
13.372.682	12.596.902	250%	-

Tabla 6.11 Flujo de caja con crédito reutilización externa.

Como se puede apreciar en la tabla 6.11, al financiar la inversión con capital prestado, se recupera la inversión al tercer año, lo cual significa que a partir del tercer año la reutilización externa comienza a ser rentable.

Entrega a Penitenciaria

Capital de trabajo: se considerará un capital de trabajo de 6 meses de operación y un flujo anual de 5. La razón de esto es que se espera contar con un stock anual de materias primas de 14 toneladas.

Periodo de inversión: Se evaluará el proyecto con un horizonte de 5 años.

Flujo de caja con crédito: 9% Tasa de interés bancario.

Consideraciones:

Ingresos:

- El ingreso, que corresponde dinero ahorrado por enviar al vertedero la fracción de residuos de tableros de madera. Se considero un aumento del 10% en el ingreso anual, utilizando a un horizonte de evaluación de 5 años.

Egresos:

- El sueldo del operador se determinó según un sueldo y un bono de producción promedio del área de fabricación de muebles, información entregada por el área de gerencia de MR Muebles.

Se determinó el VAN, con la tasa de descuento de 10-12%, y la TIR, lo que permitió determinar la viabilidad económica de las propuestas.

A medida que los ingresos van aumentando se tiene mayor capacidad de pagar la inversión y pay back va disminuyendo y el proyecto se hace más atractivo

Al aumentar la producción los VAN y los TIR aumentan, y los pay-back va disminuyendo

VAN 10%	VAN 12%	TIR %	PAY-BACK
6.008.895	5.669.157	300%	0,32
8951622,25	8457942	400%	0,25
11894349,5	11246726,7	500%	0,21
14837076,8	14035511,5	700%	0,19
17779804,1	16824296,2	750%	0,09

Tabla 6.12 Flujo de caja puro entrega a penitenciaria

Como se puede observar en la tabla 6.12, los indicadores VAN de la entrega a penitenciaria son positivos y al aumentar la producción de la empresa MR, y con ello la generación de residuos de tablero (MDP y contrachapado) desde 14 a 73 toneladas anuales. Por otro lado, los indicadores TIR aumentan, y los pay back van disminuyendo.

VAN 10%	VAN 12%	TIR %	PAY-BACK
6.095.950	5.763.766	500%	0,12
9075932,84	8586596,2	800%	0,09
11981404,8	11341335,3	1000%	0
14956233,7	14159456	1000%	0,04
17836868,9	16891498,1	1000%	0,04

Tabla 6.13 Flujo de caja con crédito entrega a penitenciaria

Como se puede apreciar en la tabla 6.13, al financiar la inversión con capital prestado, va disminuyendo el tiempo en que se recupera la inversión, lo cual significa que la entrega a penitenciaria es rentable y, por lo tanto, es conveniente realizarla.

6.5.5 Análisis de sensibilidad: del indicador valor actual neto en función de la producción.

En esta sección se analizará qué factor es más determinante en la alteración del resultado final, con el fin de evaluar la robustez del modelo.

El precio de la energía es una variable importante en la reutilización externa. Sin embargo, es mucho menor que la inversión, que corresponde a 3.282 USD.

Es interesante ver que los valores que menos impactan tienen que ver con el transporte y la mantención. Esto ocurre debido a que la reutilización externa es intensiva en capital inicial, y relativamente bajo en costos de operación.

Actualmente existe una baja generación de residuos de tableros de densidad media (MDF), tablero contrachapado y tablero Aglomerado (MDP) en la empresa MR Muebles, lo que significa que las propuestas no serán rentables hasta que muchas de las condiciones de producción de la empresa MR Muebles varíen significativamente. La primera opción para aumentar los residuos sólidos de tablero MDF, sería hacer alianzas con terceros y recibir gratis los residuos de tablero o que en futuro MR aumentara la fabricación de muebles, y de esta forma aumentaría la cantidad de residuos de tablero MDF.

Las propuestas con financiamiento, ver anexo figuras 9.2 y 9.4, presentan ventajas tributarias y financieras, en el caso de la reutilización externa mejora el flujo de caja a partir de los 3 BDMT, ya que se comienza a obtener ingresos, por lo que al aumentar la cantidad de residuos de tablero de densidad media (MDF) la empresa Arauco pagaría un monto mayor. En el caso de la entrega a penitenciaria, a partir de las 15 toneladas de residuos de tablero contrachapado y aglomerado (MDP), la empresa MR comienza a obtener ingresos.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

La combustión de residuos de madera de mueble provoca se produzcan emisiones de compuestos orgánicos nitrogenados debido a presencia de aditivos y de compuestos inorgánicos. Es por ello, que se descartan los procesos térmicos a menos que se invierta en un sistema de combustión que tenga la capacidad de eliminar los gases tóxicos que se generan, propuesta que hoy está fuera del alcance de evaluación de esta habilitación profesional.

El tamaño de generación de residuos actual de la empresa MR es aún pequeño para explorar alternativas tecnológicas más complejas. Dado que la mayoría de las tecnologías reutilización de estos son más costosas, y limitan su aplicación en la empresa MR

Dada las exigencias de las propuestas, la tasa de descuento es relativamente alta para que ambas propuestas sean rentables en las condiciones actuales. En el caso de la reutilización externa, para una tasa del 10% se obtiene un valor negativo del VAN de 1.632,96 dólares, y una TIR del 20%.

La propuesta de mejora para la empresa MR muebles, actualmente no es viable según los valores y toneladas promedio de residuos sólidos de tablero. Sin embargo, el problema se solucionaría si las condiciones de la producción de la empresa MR Muebles varían en un futuro. Es decir, si aumenta el consumo de materia prima, lo cual es perfectamente posible dada la opinión del gerente.

RECOMENDACIONES

Dado que el problema de los residuos es genérico en Chile, la situación base puede ser mejorada con la adquisición de un 25% de volumen de residuos a partir de alianzas con productores de residuos como por ejemplo Chile Muebles, Placa Centro Masisa, entre otros.

Se propone estudiar la fabricación de un tablero prototipo para determinar costos y tecnología, y estudiar posibles mercados para un tablero obtenido de residuos de mueblería.

8. REFERENCIAS

1. ABIMCI, (2019) - Asociación Brasileña de la Industria de la Madera Procesada Mecánicamente. Estudio sectorial 2009 - año base 2008. Curitiba: ABIMCI, 2009. 54 p
2. Balboa, C. H., & Somonte, M. D. (2014). Economía circular como marco para el ecodiseño: el modelo ECO-3. *Informador técnico*, 78(1), 82-90.
3. Bonviu, F. (2014). The European economy: From a linear to a circular economy. *Romanian J. Eur. Aff.*, 14, 78.
4. Camacho-Otero, J., Boks, C., & Pettersen, I. N. (2018). Consumption in the circular economy: A literature review. *Sustainability*, 10(8), 2758.
5. CSIL, 2008. *The World Furniture Outlook 2008*. CSIL Centre for Industrial Studies, Milan, Italy. Diarmaid, Addison-Smyth, 2005. Ireland's revealed comparative advantage. *Quarterly Bulletin* 1, 101–114.
6. Costa, G. y Gouvinhas, R., (2003). Las estrategias de ecodiseño y el proceso de desarrollo de productos en las pymes del noreste de Brasil . *Gestión y desarrollo de productos*, 2(1), 31–40.
7. Daian, G., & Ozarska, B. (2009). Wood waste management practices and strategies to increase sustainability standards in the Australian wooden furniture manufacturing sector. *Journal of Cleaner Production*, 17(17), 1594–1602.
8. Empresas Arauco S.A., Empresas Imdima LTDA, y Dirección de Penitenciarias de Chile.
9. Comercializadora Segener spa.
10. EPF (European Panel Federation) (2005). Special topic: Patterns of raw wood consumption in the Euro-pean particleboard industry.
11. FERNANDEZ PONCE, M. D. R. (2019). PROPUESTA DE MODELO DE INTEGRACION DE LOS SISTEMAS DE GESTION AMBIENTAL ISO 14001: 2015 Y GESTION DE LA ENERGIA ISO 50001: 2011.
12. Girods, P., Dufour, A., Rogaume, Y., Rogaume, C., & Zoulalian, A. (2008). Thermal removal of nitrogen species from wood waste containing urea formaldehyde and melamine formaldehyde resins. *Journal of Hazardous Materials*, 159(2-3), 210–221.
13. Gudewort, A. (2016). El gasto de tirar El valor de los residuos. Distintos modos de reducir, reutilizar, reciclar y revalorizar residuos industriales. Buenos Aires: Instituto Nacional de Tecnología Industrial

14. Kloeser, L., Kües, U., Schöpfer, C., Hosseinkhani, H., Schütze, S., Dantz, S., ... & Kharazipour, A. (2007). 15. Panel Boards and Conventional Adhesives. *Wood Production, Wood Technology, and Biotechnological Impacts*, 297.
15. Lyutyty, P., Bekhta, P., Ortynska, G., & Sedliacik, J. (2017). Formaldehyde, phenol and ammonia emissions from wood/recycled polyethylene composites. *Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen res Publica Slovaca*, 59(1), 107.
16. López Zapata, R. A., & Mesias Narvaez, J. C. (2020). Elaboración y caracterización de tableros de partículas a partir del cuesco de la palma africana con adhesivo biodegradable (Bachelor's thesis, Quito, 2020.).
17. Mena Saavedra, R., 2007. Diagnóstico de una empresa familiar de fabricación de muebles.
18. Moreno Caballero, A. I. (2016). Estudio del briquetado y la combustión de residuos de la industria del mueble de madera y de residuos de muebles
19. Moreno, A. I., & Font, R. (2015). Pyrolysis of furniture wood waste: Decomposition and gases evolved. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 113, 464–473. doi:10.1016/j.jaap.2015.03.008
20. Nelles, M., Grünes, J., & Morscheck, G. (2016). Waste Management in Germany – Development to a Sustainable Circular Economy? *Procedia Environmental Sciences*, 35, 6–14.
21. O'Halloran, M.R. (1989). Plywood. In: Schniewind, A. (Ed.) *Concise encyclopedia of wood and wood-based materials*. Pergamon, Oxford, UK, pp. 221-226.
22. Reyes Echeverría 2018, A. K. Propuesta de proceso para la transformación con fines de reciclaje, del principal residuo aglomerado distribuido y procesado por la empresa Madecentro Colombia SAS.
23. Schroeder, P., Anggraeni, K., & Weber, U. (2018). The Relevance of Circular Economy Practices to the Sustainable Development Goals. *Journal of Industrial Ecology*. doi:10.1111/jiec.12732
- 24 . Thoemen, H. & Humphrey, P.E. (2003). Modelling the continuous pressing process for wood-based composites. *Wood and Fiber Science*, 35, 456-468
25. Velázquez, H. E. C., Galindo, A. S., & Facio, A. O. C. (2016). Resinas termoestables de fenol-formaldehído. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 17, 6.
26. Xiong, X., Ma, Q., Wu, Z. y Zhang, M. (2020). Current status and key considerations of green furniture manufacturing in China: a review. *Journal of cleaner production* , 267 , 121957.
27. You, Qijun, 2007. World furniture trade up to 100 billion US Dollar in 2007. *Furniture Market* 8, 55. In Chinese

28. Zambrano, L., Moreno, P., Muñoz, F., Durán, J., Garay, D., & Valero, S. (2013). Tableros de partículas fabricados con residuos industriales de madera de *Pinus patula*. *Madera y bosques*, 19(3), 65-80.

9. ANEXO

9.1 Resultados

1 m³ estereo de astillas	Equivale a 0,4 m³ ssc
1 BDMT de astillas	Equivale a 2,17 m³ ssc

Tabla 9.1 Conversión de residuos sólidos de tablero (INFOR)

BDMT	m3 estéreo
1	0,184331797
2	0,368663594
3	0,552995392
4	0,737327189
5	0,921658986
6	1,105990783
7	1,290322581
8	1,474654378
9	1,658986175
10	1,843317972

Tabla 9.2 Producción de astillas MDF

Monto	\$ 2.200.000
Proporción a financiar	60%
Monto del préstamo	\$ 1.320.000
Tasa de interés	9%
Valor Cuota	339.362
Numero de Cuotas	5

Tabla 9.3 Datos del crédito bancario reutilización externa

Saldo adeudado (\$)	Cuota (\$)	Interés (\$)	Amortización deuda(\$)
\$ 1.320.000	\$ 339.362	\$ 118.800	\$ 220.562
\$ 1.099.438	\$ 339.362	\$ 98.949	\$ 240.413
\$ 859.025	\$ 339.362	\$ 77.312	\$ 262.050
\$ 596.976	\$ 339.362	\$ 53.728	\$ 285.634
\$ 311.341	\$ 339.362	\$ 28.021	\$ 311.341

Tabla 9.4 Tabla de Pagos o de Amortización reutilización externa

Toneladas	Peso de Residuo de tablero (mdp+contrachapado) (Kg)
14,68704	14687,04
29,37408	29374,08
44,06112	44061,12
58,74816	58748,16
73,4352	73435,2

Tabla 9.5 Peso de Residuos de tableros (mdp+contrachapado)

Monto	\$400.000
Proporción a financiar	60%
Monto del préstamo	\$ 240.000
Tasa de interés	9%
Valor Cuota	61.702
Numero de Cuotas	5

Tabla 9.6 Datos del crédito bancario entrega a penitenciaria

Saldo adeudado (\$)	Cuota (\$)	Interés (\$)	Amortización deuda(\$)
\$ 240.000	\$ 61.702	\$ 21.600	\$ 40.102
\$ 199.898	\$ 61.702	\$ 17.991	\$ 43.711
\$ 156.186	\$ 61.702	\$ 14.057	\$ 47.645
\$ 108.541	\$ 61.702	\$ 9.769	\$ 51.933
\$ 56.608	\$ 61.702	\$ 5.095	\$ 56.608

Tabla 9.7 Tabla de Pagos o de Amortización entrega a penitenciaria

Análisis de sensibilidad: reutilización externa

La figura 9.1, se obtuvo con datos del Flujo de caja puro.

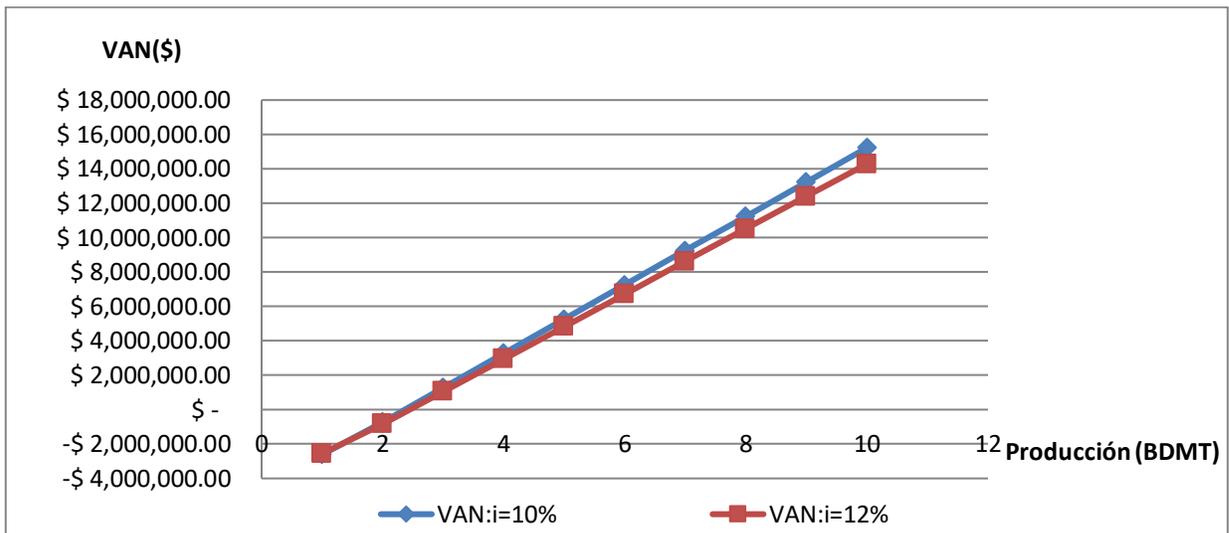


Figura 9.1 Valor actual neto en función de la producción (BDMT)

La figura 9.2, se obtuvo con datos del Flujo de caja con crédito.

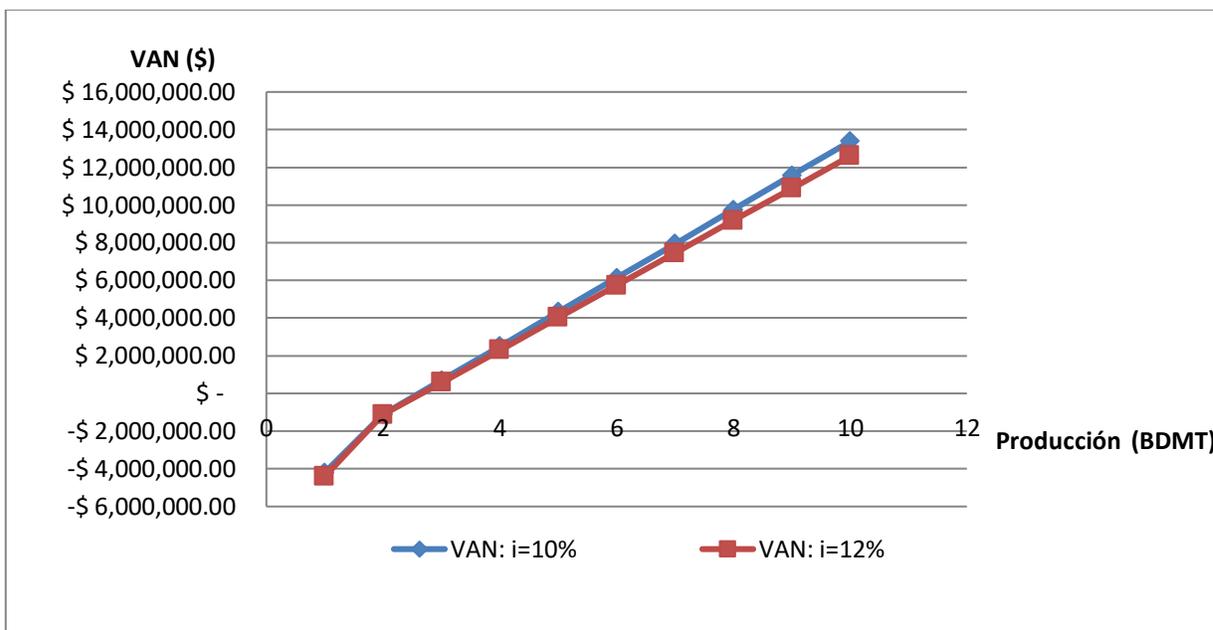


Figura 9.2 Valor actual neto en función de la producción (BDMT)

Análisis de sensibilidad: entrega a penitenciaría

La figura 9.3, se obtuvo con datos del Flujo de caja puro.

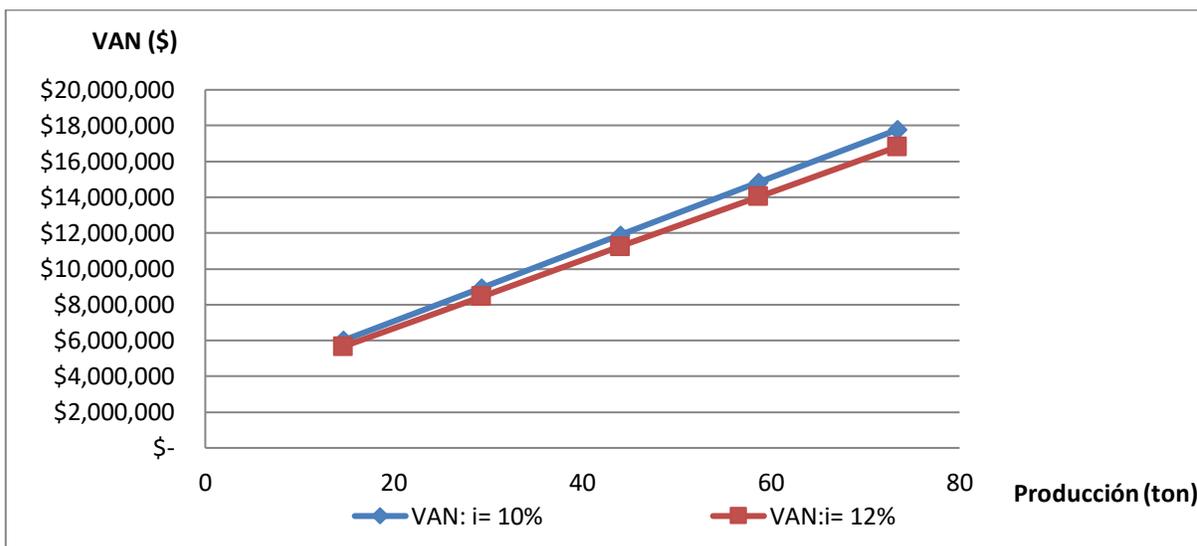


Figura 9.3 Valor actual neto en función de la producción (ton).

La figura 9.4, se obtuvo con datos del Flujo de caja con crédito.

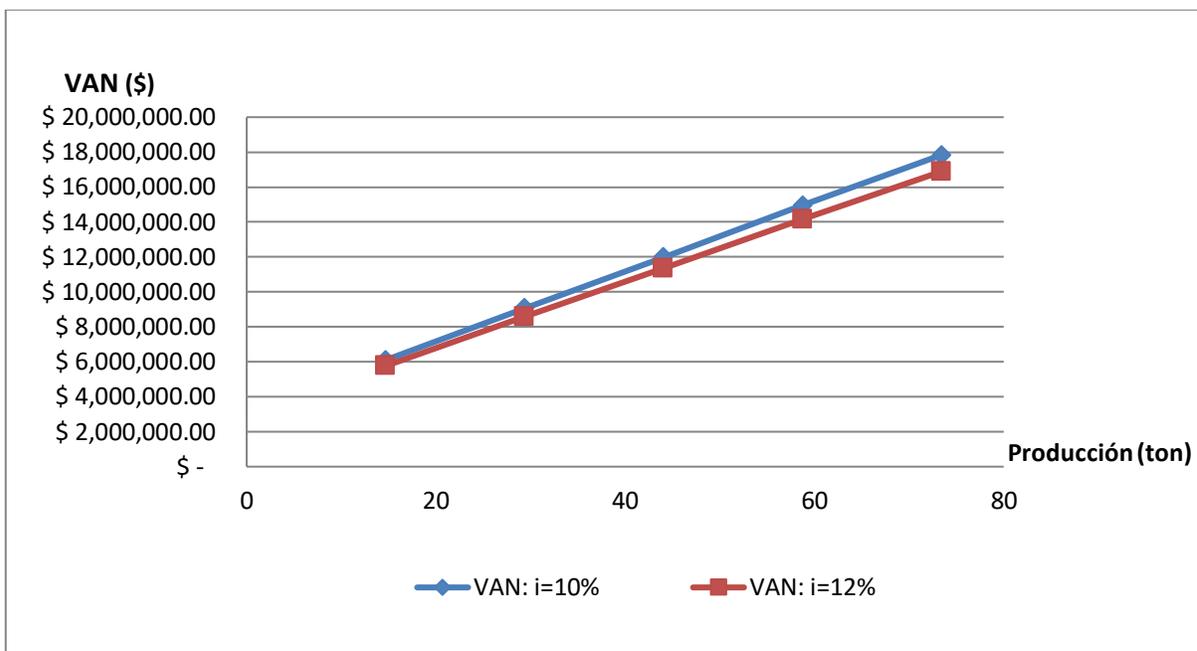


Figura 9.4 Valor actual neto en función de la producción (ton).